

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

ANDREA MARČE

INTERAKCIJA BIORAZGRADIVOG  
PREMAZA I TISKARSKE BOJE  
ZA SITOTISAK

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

**ANDREA MARČE**

**INTERAKCIJA BIORAZGRADIVOG  
PREMAZA I TISKARSKE BOJE  
ZA SITOTISAK**

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

doc. dr. sc. Tamara Tomašegović

Studentica:

Andrea Marče

Zagreb, 2021.

Rješenje o odobrenju teme diplomskog rada

## SAŽETAK

Površinske pojave u tisku izuzetno su važne za razumijevanje i optimizaciju interakcije materijala koji sudjeluju u procesu grafičke reprodukcije. U tehnici sitotiska, površinska svojstva otiska između ostalog su vezana uz odabir mrežice na tiskovnoj formi, budući da hrapava površina otiska nastala zbog same strukture mrežice može značajno utjecati na slobodnu površinsku energiju otisnutog sloja tiskarske boje.

U svrhu zaštite poroznih tiskovnih podloga od prodora vlage, ojačanja mehaničkih svojstava ili osiguranja boljeg prihvaćanja tiskarske boje na podlogu, podloge se često prije tiska premazuju zaštitnim premazima. Tada parametri adhezije između premaza i tiskarske boje postaju od izuzetnog značaja za procjenu izdržljivosti, ali i kvalitete otiska.

U ovom radu korišteni su biorazgradivi premazi (polikaprolakton i polilaktična kiselina) koji su naneseni na papirnu podlogu u svrhu smanjenja propusnosti na vodenu paru. Zatim su na podlogu otisnuti kontrolni motivi pomoću dvije vrste sitotiskarskih boja na bazi vode: boja s transparentnom bijelom, i boja s pokrivnom bijelom. Prije otiskivanja, eksperimentalno je određena optimalna linijatura sitotiskarske mrežice za odabrane motive.

Analizom površinskih i međupovršinskih svojstava u sustavu „tiskovna podloga-premaz-otisk“ te mjerenjima svojstava površine otiska kao što su hrapavost i vizualne analize 2D i 3D mikroskopijom bit će moguće opisati i optimizirati interakciju biorazgradivog premaza i tiskarskih boja za sitotisk.

**Ključne riječi:** površinska svojstva otiska, slobodna površinska energija, tiskarska boja, zaštitni premazi, adhezija, polikaprolakton, polilaktična kiselina, propusnost na vodenu paru, hrapavost, 2D i 3D mikroskopija, biorazgradivi premazi

## **ABSTRACT**

Surface phenomena in print are extremely important for understanding and optimizing the interaction of materials involved in the graphic reproduction process. In the screen printing technique, the surface properties of the print are, among other things, related to the selection of the mesh on the printing form, since the rough surface of the print due to the mesh structure itself can significantly affect the free surface energy of the printed ink layer.

In order to protect porous printing substrates from moisture penetration, to strengthen mechanical properties or to ensure better adhesion of the printing ink to the substrate, the substrates are often coated with protective coatings before printing. Then the adhesion parameters between the coating and the printing ink become extremely important for assessing the durability, but also the quality of the print.

In this work, biodegradable coatings (polycaprolactone and polylactic acid) were used, which were applied to a paper substrate in order to reduce the permeability to water vapor. Control motifs were then printed on the substrate using two types of water-based screen printing inks: ink with transparent white, and ink with cover white. Before printing, the optimal line of the screen printing grid for the selected motifs was experimentally determined.

By analyzing the surface and interfacial properties in the system "printing substrate-coating-print" and measuring the properties of the print surface such as roughness and visual analysis by 2D and 3D microscopy, it will be possible to describe and optimize the interaction of biodegradable coating and printing inks for screen printing.

**Keywords:** surface properties of the print, free surface energy, printing ink, protective coatings, adhesion, polycaprolactone, polylactic acid, water vapor permeability, roughness, 2D and 3D microscopy, biodegradable coatings

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Tehnika propusnog tiska.....	2
2.2. Tiskovna forma za sitotisak.....	2
2.2.1. Okviri.....	2
2.2.2. Mrežice.....	6
2.2.3. Izrada tiskovne forme za sitotisak.....	10
2.3. Ostali materijali.....	12
2.3.1. Rakel.....	12
2.3.2. Tiskarske boje.....	14
2.3.3. Tiskovne podloge.....	15
2.4. Biorazgradivi materijali.....	15
2.4.1. Primjena i svojstva biorazgradivih materijala.....	16
2.4.2. Podjela biorazgradivih materijala.....	17
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	22
3.1. Metodologija rada.....	22
3.2. Korišteni mjerni uređaji.....	23
3.2.1. MarSurf PS 10, hrapavost.....	23
3.2.2. Goniometar OCA 30, kontaktni kut.....	25
3.2.3. Mikroskop Olympus BX 51, 2D mikroskopija površine uzoraka.....	29
3.2.4. Mikroskop Troika AniCAM 3D, 3D mikroskopija.....	29
3.2.5. Analitička vaga Mettler Toledo XS205DU, propusnost na vodenu paru.....	30
3.3. Korišteni materijali.....	33
3.3.1. PREGAN NT 9 K, sredstvo za odmašćivanje.....	33
3.3.2. KIWO Azocol Z 133.....	33
3.3.3. Mrežice.....	34
3.3.4. Sitotiskarske baze.....	34
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	35
4.1. Hrapavost.....	35

4.2. Slobodna površinska energija (SPE) i adhezija .....	36
4.3. 2D, 3D mikroskopski prikazi .....	38
4.4. Propusnost na vodenu paru .....	40
5. ZAKLJUČAK .....	41
6. LITERATURA .....	43

## 1. UVOD

Polimeri su već više od sto godina nezaobilazni u gotovo svakom segmentu praktične primjene materijala. Polimeri dobiveni iz obnovljivih izvora privlače sve veću pažnju, a jedan od glavnih razloga je prvenstveno briga o okolišu. U ovom će se radu načiniti pregled sitotiska od izrade tiskovne forme, korištenih materijala, procesa otiskivanja te će kasnije, u eksperimentalnom dijelu, biti prikazan pregled provedenog istraživanja i naknadne obrade rezultata.

Cilj istraživanja jest analizirati i opisati interakciju tiskarske boje za sitotisk na bazi pokrivne i transparentne bijele boje i biorazgradivog premaza koji se nanosi na papirnu tiskovnu podlogu. Korištene tiskarske boje su na vodenoj bazi, a biorazgradivi materijali nanoseni na tiskovnu podlogu kao premaz su polikaprolakton i polilaktična kiselina.

Hipoteze istraživanja su sljedeće:

- parametri adhezije između biorazgradivih premaza i pripremljenih tiskarskih boja razlikovat će se ovisno o vrstama materijala, ali će ukazati na optimalno prihvaćanje tiskarskih boja na premazane tiskovne podloge
- biorazgradivi premazi smanjit će propusnost tiskovne podloge na vodenu paru
- biorazgradivi premazi neće značajno utjecati na definiciju rubova otisnutih rasterskih elemenata



## **2. TEORIJSKI DIO**

### **2.1. Tehnika propusnog tiska**

Sitotisak je tehnika propusnog tiska, gdje se bojilo protiskuje kroz tiskovnu formu na tiskovnu podlogu. Tiskovna forma je građena tako da mrežica sita koja je pričvršćena na okvir ima zatvorene očiće gdje su slobodne površine, a otvorene gdje su tiskovni elementi. Zatim se pomoću rakela bojilo protiskuje kroz otvorene očiće, odnosno tiskovne elemente, na tiskovnu podlogu.

Sitotisak je sporija tehnika tiska. Ima mogućnosti otiskivanja na sve materijale od stakla, papira do tkanina, plastike itd. Što se oblika tiče, tiska se na razne tiskovne podloge, bile one ravne, cilindrične ili drugačije. Sitotiskom se često služe umjetnici koji osim reprodukcija svojih slika, ponekad slikajući direktno na situ stvaraju tiskovnu formu. [1]

### **2.2. Tiskovna forma za sitotisak**

Sastavni dijelovi tiskovne forme za sitotisak su tiskovni elementi propusni na tiskarsko bojilo te slobodne površine nepropusne na isto. Baza sitotiskarske tiskovne forme je sito tj. mrežica od prirodne svile, sintetičkoga polimera ili metalnoga pletiva napeta na drveni ili metalni okvir. Tako pripremljeno sito može biti oslojeno koloidnim kopirnim slojem te se predložak izravno kopira na formu ili neizravno, na način da se sloj na koji se kopira nalazi na drugoj podlozi te se nakon kopiranja utisne u sito. [2]

#### **2.2.1. Okviri**

Čvrstoća je bitan segment koji uvelike doprinosi kvaliteti okvira korištenih kod sitotiska. Također je bitno da budu dimenzionalno stabilni, otporni na kemikalije korištene kod reproduksijskih procesa, od oblikovanja tiskovnih elemenata i slobodnih površina, preko kemikalija prisutnih kod rada sa tiskarskim bojama, do otapala tiskarskih boja i sredstava za čišćenje. Jedna od glavnih odlika okvira je ta da trebaju biti potpuno ravni zbog postizanja što preciznijeg registra, odnosno preklapanja svih nanosa tiskarskih boja korištenih u procesu otiskivanja. Također ne smiju imati oštre rubove te se na taj način izbjegava oštećenje sitotiskarske mrežice, ali i tiskovne podloge. Okviri moraju imati hrapavu površinu zbog lijepljenja i lakšeg i kvalitetnijeg prijanjanja sitotiskarske mrežice na njih. [3]

### 2.2.1.1. Vrste okvira za tiskovnu formu za sitotisak

Za izradu okvira tiskovne forme za sitotisak materijali mogu biti drvo ili metal. Drvo je najisplativija opcija koja je dostupna kada je u pitanju odabir okvira. Osim ekonomske povoljnosti, bitno je napomenuti da je napinjanje mrežice uvelike jednostavnije, a i rukovanje je lakše zbog manje težine. No, kod promjena relativne vlažnosti i temperature, drveni okviri podliježu bubrenju, počinju se dimenzionalno mijenjati, savijati i skupljati te imaju kraći vijek trajanja.

To su najveći nedostaci drvenih okvira koji dovode do lošije kvalitete otiska, promjena u registru te ih je zbog toga bolje izbjegavati, i to posebice kod preciznijih radova. No, ti nedostaci mogu biti umanjeni lakiranjem okvira dvokomponentnim lakom koji drvu daju zaštitu od vode i otapala.

Metalni okviri imaju mnogo više prednosti. Nema bubrenja, dimenzionalnih promjena i savijanja, otpornost na kemikalije je prisutna te im je tim i trajnost veća. Također, imaju dobru otpornost na koroziju i lako se čiste. Moguće ih je koristiti za napinjanje svih vrsta mrežica. Općenita prednost metalnih okvira je mogućnost promjene formata, a ono najbitnije je izbjegavanje problema sa „paserom“. Za razliku od drvenih, nedostatak je skupoća, a napinjanje mrežica je zahtjevnije. Čelični okviri imaju također brojne prednosti, međutim za razliku od aluminijskih okvira, nedostatak im je sklonost hrđanju i njihova velika masa. [4]



*Slika 1. Aluminijski okvir za sitotisak*

Izvor: <https://www.indiamart.com/proddetail/aluminum-screen-printing-frames-5703115588.html>



*Slika 2. Drveni okvir za sitotisak*

*Izvor: <https://www.indiamart.com/proddetail/screen-printing-wooden-frame-19373314233.html>*

#### **2.2.1.2. Napinjanje mrežice na okvir**

Postoje tri načina napinjanja mrežice na okvir propusnog tiska od kojih svaki ima različit stupanj preciznosti, a to su: ručno, mehaničko i pneumatsko napinjanje.

Ručno napinjanje je najčešće korišteno kod drvenih okvira, a tako napeti okviri se moraju dodatno lijepiti te šivati žicom i pripaziti da ne dođe do oštećenja mrežice.

Mehaničko napinjanje se obavlja pomoću uređaja koji proizvodi sile napinjanja u smjeru osnove i u smjeru potke. Kod ove vrste napinjanja, moguće je namjestiti okvir pod određenim kutom u svrhu izbjegavanja Moire-a kod višebojnog otiskivanja ili je čak moguće istovremeno napinjati veći broj okvira što uvelike doprinosi i većoj produktivnosti.

Pneumatsko napinjanje mrežice izvodi se pomoću strojeva čiji su sastavni dijelovi stezači za pojedinačno napinjanje koji su međusobno povezani te zbog toga djeluju usklađeno. Količina pojedinačnih stezača ovisi o veličini samog okvira. Prednost pneumatskog napinjanja je dobivanje potrebne prednapetosti okvira jer se stezači prilikom napinjanja opiru o okvir, a prednapetost jamči kontinuiranu i kvalitetnu napetost nakon lijepljenja. Kvaliteta otiska ovisi o savršeno kontroliranoj napetosti mrežice za propusni tisak, a ona se mjeri njutn-testerom i izražava u njutnima po centimetru (N/cm).

Također, postoje dva postupka napinjanja: standardni i brzi. Standardni postupak napinjanja omogućuje dovođenje svile do željene napetosti unutar jedne do tri minute, uz dodatno čekanje od deset minuta prije lijepljenja u svrhu njenog opuštanja te naknadno ponovno povećanje napetosti do željene vrijednosti. Ponavljanjem tog postupka sprječava se gubitak napetosti.

Brzo napinjanje je postupak kod kojeg je mrežica napeta do napetosti oko 15% veće od željene te se tako i zalijepi. Kod ovakve vrste napinjanja nema čekanja u svrhu opuštanja mrežice već se to dogodi nakon lijepljenja. Tako napeta mrežica se unutar 24 sata nakon napinjanja opusti 10-20%, ovisno o načinu i uređaju napinjanja, stabilnosti okvira, originalnoj napetosti mrežice i vremenu čekanja prije lijepljenja. Zbog toga bi okviri sa napetim mrežicama trebali mirovati 24 sata prije izrade tiskovne forme. [5]

### **2.2.1.3. Lijepljenje mrežice na okvir**

Prije lijepljenja mrežice na okvir potrebno je obaviti pripremu okvira, a to zahtjeva temeljito čišćenje jer na okviru ne smije biti tragova ni masti ni prašine. Prvotno se očiste ostaci boje i ljepila, a oštri rubovi se moraju zaobliti. Nakon toga slijedi odmašćivanje otapalom, i brzo lijepljenje mrežice kako se okviri ne bi ponovno kontaminirali.

Također, prije lijepljenja na okviru treba zabilježiti marku mrežice za propusni tisak, broj tkanja i promjer niti, broj role/pošiljke, napetost, datum i inicijale rukovatelja.

Prilikom lijepljenja, važno je osigurati potpuni kontakt mrežice i okvira te temeljito lijepljenje rubova okvira za mrežicu.

Postoje dvokomponentna, rezervna, UV te kontaktna ljepila. Dvokomponentna ljepila su smjesa ljepila i učvršćivača, a prednost im je otpornost na otapala. Miješanje dviju komponenata ovog ljepila odvija se u pravilnim omjerima netom prije upotrebe. Reakcija između ljepila i učvršćivača počinje već u posudi, te su stoga takva ljepila kratkog vijeka.

Postoje dvije faze sušenja ovakvih ljepljivih slojeva: prvo ispari otapalo, a zatim počinje kemijski proces sušenja. Mnogo faktora utječe na vrijeme isparavanja, a neka od njih su finoća mrežice, njena napetost, temperatura i relativna vlažnost zraka te debljina sloja ljepljivog sloja.

Rezervna ljepljiva se prvotno stave na okvir te se on, u tom obliku, može pohraniti na neodređeno vrijeme. Aktivacija takvih vrsta ljepljivog sloja postiže se premazivanjem acetonom ili nekim drugim sredstvom za aktiviranje te je potrebno završno lakiranje zalijepljenog sloja.

Jedna komponenta je sastavni dio UV ljepljivog sloja, a sušenje se odvija uslijed izlaganju ultraljubičastoj svjetlosti i to jako brzo. Prednost ovakvih ljepljivog sloja je otpornost na otapala.

Kontaktna ljepljiva lijepe velikom brzinom te je okvir, nakon samo par minuta sušenja, spreman da se izvadi iz napinjača. Nanose se na okvir, ali i na napetu mrežicu. Kada se osuše, obje površine, na koje je ljepljivo nanoseno, se pritisnu zajedno. Njihov nedostatak je neotpornost na jaka otapala te treba završnog lakiranja zalijepljenog sloja. [5]

### **2.2.2. Mrežice**

Kod forme propusnog tiska, mrežica predstavlja šablonu koja na mjestima tiskovnih elemenata propušta boju, a na mjestima slobodnih površina ne propušta boju. Sastoji se od dva dijela: osnove tkanja i potke.

#### **2.2.2.1. Vrste mrežica za tiskovnu formu za sitotisak**

Grativni materijali mrežica su raznoliki, a mogu biti prirodnog, sintetskih ili metalnog porijekla. Što se tiče metalnih, moguće je koristiti samo one metale koji mogu biti izvučeni u fine, tanke, ali čvrste i dimenzionalno stabilne niti, uz još jednu bitnu karakteristiku - otpornost na koroziju. Najčešće su žice, tj. niti od fosforne bronce te antikoroziivnog čelika. Sita napravljena od metalnih niti uporabu nalaze za tisak na tvrde i krute podloge gdje njihova velika čvrstoća poprima glavnu ulogu. Takve podloge su keramika, metal, drvo i slično. Veliki nedostatak metalnih sita je nemogućnost vraćanja u prvobitni položaj nakon njihove deformacije te stoga postaju trajno neupotrebljiva.

Prvi korišteni materijali za izradu mrežica za sitotisak su prirodni materijali, a glavni predstavnik je bila svila. Ona se trenutno uglavnom ne upotrebljava zbog njene iznimne skupoće. [4]

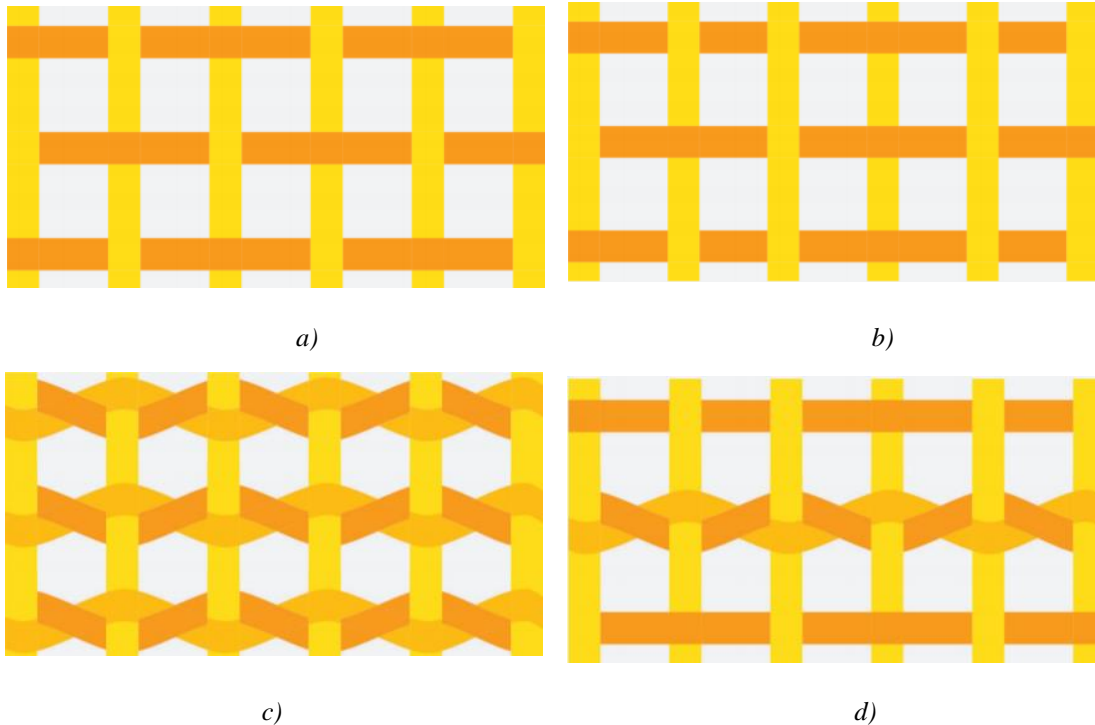
Očice takvog tkanja su bile različite veličine što je dovelo do nejednolike propusnosti tiskarske boje. Takve mrežice nisu posjedovale visoku otpornost na habanje, nisu bile pogodne za veće naklade te se stoga danas obično koriste sintetske, odnosno poliamidne i poliesterske te metalne mrežice, ovisno o zahtjevima proizvodnog procesa. [5]

Mrežice napravljene od sintetskih vlakana mogu biti od poliestera, najlona i perlona te su kao takve danas najviše i uporabi. Njena svojstva pokazuju veliku prednost u usporedbi s ostalim mogućim gradivnim materijalima sitotiskarskih mrežica. Posjeduju veliku elastičnost i čvrstoću, dugo zadržavaju dimenzionalnu stabilnost i ne deformiraju se uslijed udarca. Također su otporne na mnoge kemikalije korištene u procesu tiska.

O širini očice mrežice ovisi protiskivanje boje kroz mrežicu na tiskovnu podlogu. Na odabir materijala za izradu mrežice utječe i konačan grafički proizvod koji se otiskuje. Različiti tipovi tiskovne podloge zahtijevaju i različite formulacije bojila te je iz tog razloga važno da bojila i sredstva za čišćenje ne uništavaju mrežicu.

Osim spomenute kemijske otpornosti, veoma je važno da mrežice budu otporne i na mehanička naprezanja koja su prisutna kroz protiskivanje bojila pomoću rakela. [4]

Postoje dva smjera niti mrežica te su okomiti jedan na drugog - osnova i potka. Njihovim međusobnim isprepletanjem nastaje sitotiskarska mrežica. Razlikujemo obično (PW) (Slika 3.a) i keper (TW) tkanje (Slika 3.b). Razlika je vidljiva u načinu međusobnog prelaska niti osnove i potke. Obično tkanje je isprepletanje niti jedna za drugom dok je kod keper tkanja prisutan izostanak, koji varira, niti do sljedeće promjene stanja potke. Postoji i tift tkanje (Slika 3.c) kod kojeg su niti potke dvostruko ispletene te mlinarsko tkanje (Slika 3.d) kod kojeg je svaka druga nit potke dvostruko pletena. Slabija mehanička svojstva odlikuju obično tkanje, ali posjeduje veću propusnost tiskarske boje ako ga usporedimo s tift i mlinarskim tkanjem.



**Slika 3.** Vrste tkanja mrežice: a) obično tkanje; b) keper tkanje; c) tift tkanje; d) mlinarsko tkanje  
 Izvor: <https://eprints.grf.unizg.hr/>

Dvije važne karakteristike mrežice su linijatura i promjer niti. One, skupa s načinom tkanja, direktno utječu na veličinu otvora očice mrežice, a time i na samu kvalitetu reprodukcije. Linijatura mrežice predstavlja broj niti po dužinskom centimetru. Što je linijatura veća, otvor mrežice je manji, a to direktno rezultira kvalitetnijim reproduciranjem detalja.

Debljina niti također utječe na otvor mrežice - veća debljina niti smanjuje otvor mrežice, a povećava razmak između susjedna dva otvora što rezultira manjom rezolucijom otiska. Ako povećana debljina niti smanjuje kvalitetu otiska, ponekad je potrebna manja količina tiskarske boje na tiskovnoj podlozi, na primjer pri korištenju tiskarskih boja koje se suše izložene UV zračenju. Iz tog razloga se, prema potrebi, koriste kalandrirane odnosno prešane sitotiskarske mrežice.

Sljedeća bitna karakteristika je boja mrežice. Najčešće dolaze u dvije boje - bijeloj i žutoj. Bijele su pogodne za jednostavnije motive dok žute najčešće služe za otiskivanje višebojnih, ali i detaljnijih reprodukcija obzirom da žuta boja mrežice smanjuje potkopiravanje. [2]

#### **2.2.2.2. Geometrija mrežica**

Geometrija mrežice za propusni tisak opisuje dvodimenzionalne i trodimenzionalne karakteristike strukture mrežica.

Ima direktan utjecaj na niz parametara; mogućnost otiskivanja finih detalja, linija i tonova, jasno definiranje ruba otiska, svojstva propuštanja boje, brzinu tiska u odnosu na viskoznost boje, gustoću niti, protok i potrošnju boje tijekom tiska te brzinu sušenja boje.

Dva osnovna parametra u geometriji mreže su linijatura - broj niti po dužnom centimetru s oznakom  $n$  te debljina - promjer niti s oznakom  $d$ .

Širina otvora mrežice, s oznakom  $w$ , predstavlja razmak između susjednih niti i izražava se u mikrometrima. Otvori mrežice direktno utječu na veličinu čestica koja smije biti korištena u boji, a to dalje utječe na ukupni detalj otiska kao i na karakteristike propuštanja boje. Za najoptimalniji i najbolji prolazak boje kroz željenu linijaturu, maksimalna veličina čestica mora biti manja od trećine otvora mrežice. Važno je napomenuti da geometrija mreže definira karakteristike mreže pa se tako otvor, debljina i volumen mreže određuju njenom geometrijom. [6]

#### **2.2.2.3. Nomenklatura mrežica**

Oznaka sitotiskarske mrežice sadrži sedam varijabli:

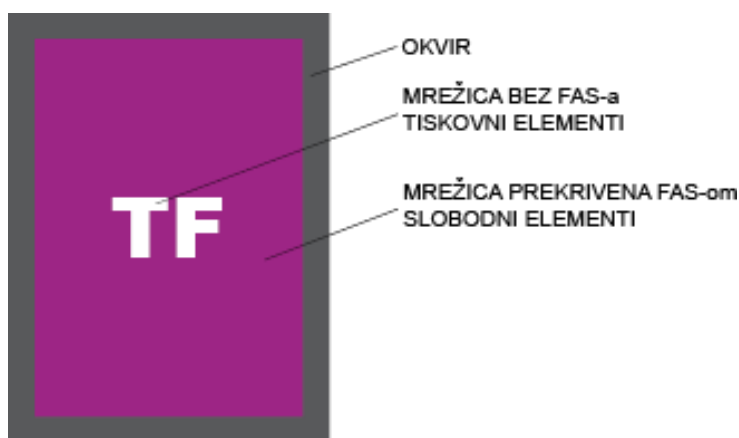
PET 1000 150-27 Y PW OSC

PET označava gradivni materijal mrežice. Parametar 1000 predstavlja kvalitetu izrade mrežice, a uz 1000 postoji još i 2000. Sljedeći broj 150 predstavlja broj niti po dužinskom centimetru, a 27 debljinu u mikrometrima. Parametar Y označava boju mrežice, u ovom slučaju yellow odnosno žutu, a druga opcija je W, white, odnosno bijela. PW označava način tkanja te je, osim običnog, moguće i keper tkanje, TW. Zadnji parametar označava način kalandriranja. Kod ovog slučaja, OSC predstavlja jednostrano, a TSC obostrano kalandriranje. [7]



### 2.2.3. Izrada tiskovne forme za sitotisak

Sitotisak prema načinu prijenosa tiskarske boje na tiskovnu podlogu pripada tehnikama direktnog tiska jer je sito, odnosno tiskovna forma, prilikom otiskivanja u izravnom kontaktu s tiskovnom podlogom. Tiskovna forma je izrađena od mrežice napete na drveni ili metalni okvir. Obično se oslojava fotoaktivnim slojem, emulzijom, te se nakon toga vrši kontaktno kopiranje kopirnog predloška uslijed elektromagnetskog zračenja određenih valnih duljina. Nakon osvjetljavanja slijedi razvijanje, tj. uklanjanje emulzije s neosvijetljenih površina. Osvijetljena emulzija iz vodotopivog stanja prelazi u netopivo i mjesta s kojih je uklonjena neosvijetljena emulzija postaju propusna mjesta, odnosno budući tiskovni elementi. Tiskovni elementi i slobodne površine na tiskovnoj formi nalaze se u istoj ravnini. [3]



*Slika 4. Tiskovna forma za propusni tisak*

Kopirni predložak može biti izrađen na više načina, a najbitnija stavka je da se željeni tiskovni elementi zacrne kako bi se spriječio protok elektromagnetskog zračenja. Osim ispisa motiva inkjet ili laserskim printerom, također ga je moguće ručno iscrtati flomasterom po transparentnoj foliji ili paus papiru. Uslijed slabijeg zacrnjenja tiskovnih elemenata, odnosno nemogućnosti sprječavanja prodora elektromagnetskog zračenja, dolazi do deformacije i lošije kvalitete finalnog produkta. U svrhu sprječavanja te pojave, koriste se filmovi izrađeni fotokemijskim procesom uslijed kojeg zacrnjenje tvore čestice srebra. Kod tiskovne forme propusnog tiska koriste se pozitivski, stranično ispravni kopirni predlošci. U slučaju

višetonskog originala, kopirni predložak mora biti rastriran, obzirom da tehnika sitotiska ne omogućava višetonsku reprodukciju.

Computer to Plate (CtP) je još jedan način izrade tiskovne forme uz, već spomenuti, konvencionalni način. Taj proces je u potpunosti vođen računalom te se kod njega rastrirani motiv u digitalnom zapisu dovodi do uređaja koji direktno ispisuje po tiskovnoj formi. [3]

Podaci iz računala se prenose putem procesora rasterske slike u inkjet ploter koji prska UV nepropusnu boju izravno na oslojenu mrežicu. Zatim slijedi eksponiranje mrežice i ispiranje na isti način kao i kod konvencionalnog procesa izrade. Prednost CtP načina jest što se izrađuje gotova tiskovna forma bez potrebe filma. [7]

Također, moguće je uklanjanje netopivog FAS-a u vodi, što omogućava ponovnu uporabu mrežice, odnosno ponavljanje izrade tiskovne forme. Broj puta ponovnog korištenja istog sita ovisi o materijalu sitotiskarske mrežice, materijalu tiskovne podloge, tiskarskoj boji, korištenim kemikalijama i drugom. [3]

#### **2.2.3.1. Direktni postupak izrade tiskovne forme**

Kod direktnog postupka se fotoaktivni sloj nanosi izravno na mrežicu za propusni tisak, koja je prethodno obrađena i očišćena od nečistoća koje bi mogle smanjiti kvalitetu i naštetiti procesu izrade. Može se nanijeti ručno pomoću lađe za nanos FAS-a ili pomoću automatskog uređaja za nanos FAS-a. Obično se nanosi i s gornje, rakelske, ali i s donje strane mrežice i može biti nanesen u nekoliko nanosa, ovisno o potrebi. Nakon oslojavanja FAS-em, slijedi sušenje sita, a zatim i kontaktno kopiranje koje se odvija u kopirnoj rami. Kopirna rama je uređaj koji posjeduje potreban izvor svjetlosti te je izoliran od vanjske svjetlosti. Također, koristi vakuum za priljublivanje mrežice i kopirnog predloška. Bitno je smanjiti potkopiravanje, odnosno deformaciju tiskovnih elemenata uslijed ogiba svjetlosti o rubove zacrnjenih područja te je to omogućeno ovim načinom – kontaktnim kopiranjem.

Vrijeme kontaktnog kopiranja varira i ovisi o korištenom FAS-u, o broju slojeva u kojem je nanesen, ali i boji mrežice. Deblji nanos FAS-a, kao i žuta mrežica rezultirat će duljim vremenom osvjetljavanja. Nakon kontaktnog kopiranja slijedi razvijanje, tj. ispiranje

neosvijetljenih dijelova FAS-a s budućih tiskovnih elemenata. Najčešće su korišteni FAS-ovi koji se ispiru mlazom obične vode. Prije otiskivanja potrebno je osušiti razvijeno sito. [3]

### **2.2.3.2. Indirektni postupak izrade tiskovne forme**

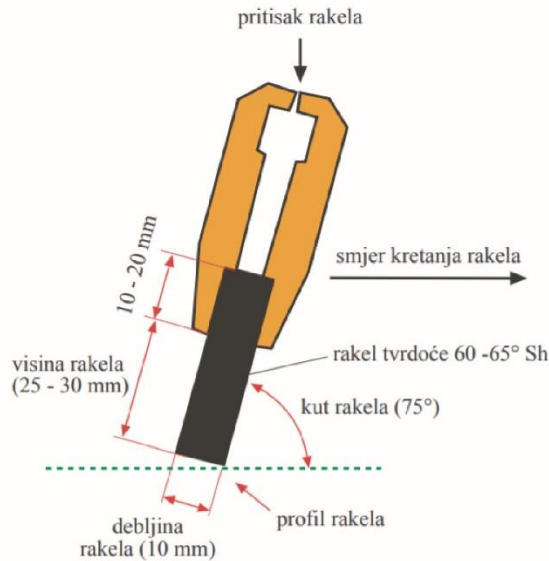
Kod indirektnog postupka se ne osvjetljava izravno tiskovna forma već postoji prijenosni medij – plastična folija oslojena fotoosjetljivim slojem, na koju se vrši osvjetljavanje pomoću predloška u kopirnoj rami. Nakon osvjetljavanja sloj se razvije vodom, uklanjaju se topivi dijelovi, emulzija nabubri te se zajedno s folijom mehaničkim pritiskom prinese na donju stranu mrežice sita. Fotoosjetljivi sloj se pri tome učvrsti za mrežicu, a folija se nakon sušenja odstrani. [8]

## **2.3. Ostali materijali**

Do sad su navedeni razni materijali, od okvira, mrežice do emulzije i mnogih drugih. Sljedeći, ostali materijali nisu dio tiskovne forme, ali to ne znači da su manje vrijedni, a to su rakel, boja i tiskovna podloga.

### **2.3.1. Rakel**

Rakel je obično građen od držača napravljenog od drva i prirodne ili sintetičke gume (neopren) ili poliuretana (vulkolan, ulon) kojom se tiskarska boja usmjerava na tiskovnoj formi. Prirodne gume odlikuje manja mehanička svojstva, brže se troše, ali za razliku od sintetičkih, manje su sklone prikupljanju elektrostatskog naboja. S vremenom, uslijed duže uporabe, oba materijala otvrdnu, a pri učestalom izlaganju raznih kemikalija nabubre što deformira oštricu te ju čini valovitom i nepogodnom za rad.

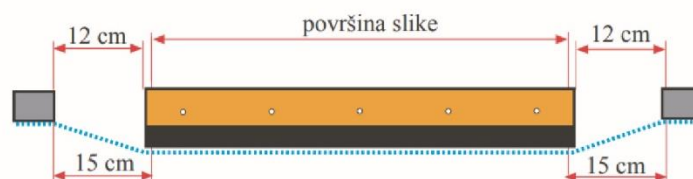


**Slika 5. Profil rakela**

Izvor: [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/MTT%20Predavanje%209a.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/MTT%20Predavanje%209a.pdf)

Mjerna jedinica za tvrdoću gume je shor, a iznosi između 60 i 75 stupnjeva. Tvrde gume pogodne su za tisak velikih formata i višetonski tisak, tzv. tisak rastera. Mekše gume se koriste za tisak punih tonova te prilikom otiskivanja na neravne tiskovne podloge. [9]

Ako je guma pretvrda, moguće je da će izazvati nepoželjne deformacije mrežice i time direktno utjecati na odstupanje u registru. S druge strane, premekana guma može se savinuti tijekom tiska te se time smanjuje kut kojeg tvori s tiskovnom formom, a to rezultira podlijevanjem boje ispod slobodnih površina. Također, rakel ima različito obrađen rub ovisno o korištenoj tiskovnoj podlozi, ali i o željenom učinku. Tako se npr. rakel oštrog ruba obično koristi prilikom tiskanja detalja, a rakel oblog ruba za postizanje većeg nanosa tiskarske boje. [3]



**Slika 6. Pravilan položaj rakela i motiva na mrežici**

Izvor: [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/MTT%20Predavanje%209a.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/MTT%20Predavanje%209a.pdf)

### 2.3.2. Tiskarske boje

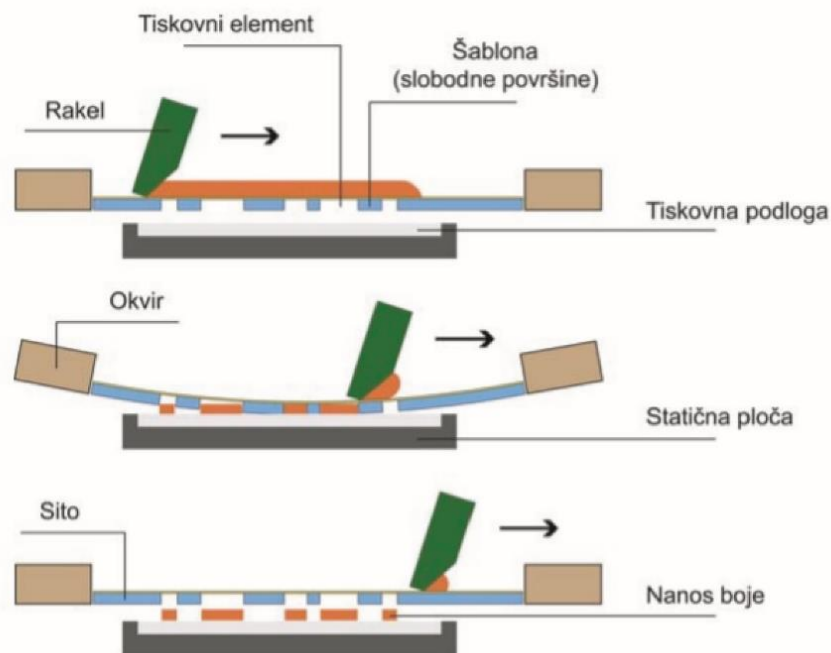
Boje za sitotisak protiskivanjem rakelom prolaze kroz otvore na mrežici. One se suše oksipolimerizacijom i polimerizacijom te ishlapljivanjem otapala. Kao što je već do sada u radu spomenuto, tehnika propusnog tiska pogodna je za razne tiskovne podloge bile one ravne ili neravne (tkanina, staklo, koža, papir, karton...) te se stoga najčešće pripremaju za svaku tiskovnu podlogu zasebno. [10]

Postoji mogućnost korištenja boja na bazi vode, plastisol boja, UV boja, kombiniranih boja, kromatskih, fluorescentnih, fosforescentnih, termokromatskih i drugih. Također, često se koristi i kombinacija boja sa raznim česticama poput reflektirajućih čestica, zvanih glitter. [7]

Tiskarske boje za sitotisak pripremaju se netom prije tiska. Jednokomponentne sitotiskarske boje koriste se za tiskovne podloge koje posjeduju veću površinsku moć apsorpiranja. U gustu, originalnu boju kao dodatak se dodaje razrjeđivač, koji ujedno i regulira viskoznost. Takve boje se primjenjuju za tisak na upojne tiskarske podloge koje se suše penetracijom, hlapljenjem i oksipolimerizacijom.

Što se tiče tiska na neupojne tiskovne podloge, tu se koriste brzosušće dvokomponentne boje. Njima se dodaje katalizator koji označava početak procesa sušenja.

Najbitniji segmenti sitotiskarske boje su njena viskoznost i pokritnost. Viskoznost utječe na prolaz boje kroz tiskovne elemente na mrežici, time i na brzinu tiska, te na debljinu nanosa na podlogu i oštrinu rubova. [10]



**Slika 7.** Shematski prikaz obojenja TF u sitotisku

Izvor: <https://docplayer.net/23856257-2-osnovni-graficki-materijali-graficke-boje.html>

### 2.3.3. Tiskovne podloge

Kao i za boje, tiskovne podloge kod sitotiska su raznolike. Moguće je tiskati na različite materijale, formate i oblike. Od plastike, tekstila, drva, kože, keramike pa sve do papira, malih formata do par centimetara pa sve do velikih formata od šest metara. Čak niti oblik tiskovne podloge nije problem jer sitotisak omogućava tisak na neravne i ravne podloge. [7]

### 2.4. Biorazgradivi materijali

Biorazgradnja je sposobnost tvari da se razgrade djelovanjem mikroorganizama kao što su bakterije, gljivice i alge biološki, uz prisutnost ili bez kisika, dok se asimiliraju u prirodni okoliš. Također, važno je naglasiti da tijekom postupka nema ekološke štete. [11]

U procesu biorazgradnje organske spojeve, bili oni jednostavni ili složeni, mikroorganizmi kao što su bakterije, gljivice, kvasci i njihovi enzimi koriste kao izvor hrane i pritom ih

prevede u jednostavnije spojeve kao što su voda, ugljikov (IV) oksid i mineralne soli. Polimer se smatra biorazgradivim ako se proces odvija pod utjecajem okoliša.

Njihova uporaba je najčešće integrirana u različitim uređajima ili implantatima. Mogu biti keramika, polimeri, metali, staklo i kompozitni materijali. Prednosti polimera u odnosu na metale i keramiku su sljedeće: korozija prisutna kod metala kao nusprodukt ima različite ione i kemijske spojeve koje imaju nepogodan utjecaj, a keramika je lako lomljiva. Polimerni materijali nemaju takvih nedostataka te, ovisno o namjeni, imaju mogućnost kontroliranja svojstva. [12]

#### **2.4.1. Primjena i svojstva biorazgradivih materijala**

Primjena biorazgradivih materijala je ogromna jer pokrivaju širok spektar materijala, a to ujedno znači da svi ti materijali imaju različita svojstva. Jedno svojstvo im je svima zajedničko – dobra otpornost na vodenu paru. [13]

Biorazgradivi polimeri bi trebali biti stabilni i dovoljno izdržljivi za uporabu u željenoj primjeni, ali bi se također nakon odlaganja trebali lako i razgraditi. Imaju izuzetno jake ugljične okosnice koje je teško razbiti pa razgradnja često započinje s krajnjim skupinama. Obzirom da razgradnja započinje na kraju, česta je velika površina, jer omogućuje jednostavan pristup bilo kemikaliji, svjetlosti ili organizmu. Kristalnost je najčešće niska jer također sprječava pristup do krajnjih skupina. Odlikuje ih nizak stupanj polimerizacije jer to omogućava dostupnije krajnje skupine za reakciju s inicijatorom razgradnje. Sljedeća karakteristika je hidrofilnost. Hidrofobni polimeri i krajnje skupine spriječit će enzim u lakoj interakciji ako enzim topiv u vodi ne može lako doći u kontakt s polimerom.

Neka od ostalih svojstava biorazgradivih polimera koja su česta među onima koja se koriste u medicinske svrhe uključuju: netoksičnost, sposobnost održavanja dobrog mehaničkog integriteta dok se ne razgrade te sposobnost kontroliranja brzine razgradnje.

Biorazgradivi polimeri su od značajnog interesa za različita područja, uključujući medicinu, poljoprivredu i pakiranje. Jedno od najaktivnijih područja istraživanja biorazgradivog polimera je kontrolirana dostava i otpuštanje lijekova.

Biorazgradivi polimeri imaju nebrojene primjene u biomedicinskom polju, posebno u područjima inženjerstvo i regeneracije tkiva te dostava lijekova. Također, biorazgradivi polimeri koriste se u ortopedskim primjenama, poput nadomještanja kostiju i zglobova. Osim medicine i lijekova, često se za smanjenje volumena koriste i biorazgradivi polimeri otpada u ambalažnom materijalu. [14]

Zbog niske topljivosti u vodi te im je od velike važnosti vezivanje vode, biopolimeri se mogu koristiti kao upijajući materijali u zdravstvu, vrtlarstvu i poljoprivredi.

Neka od ostalih područja primjene biorazgradivih polimera su automobilski, elektronski i građevinski sektor. Također, manje poznata područja kratkotrajne primjene su jednokratni potrošački proizvodi, kao što su jednokratni pribor za jelo i tanjuri, pelene, stabljika pamuka te sanitarni proizvodi. [15]

#### **2.4.2. Podjela biorazgradivih materijala**

Biorazgradivi polimeri mogu biti prirodnog ili sintetskog porijekla. Prirodni polimeri se dobivaju iz obnovljivih izvora. Lako se prilagođavaju biološkom okruženju i mogu oponašati neke biofunkcije. Sintetički polimeri dobiveni su iz neobnovljivih izvora i prednost je što nisu imunogeni te im se može kontrolirati molekularna struktura.

Zaštita okoliša i nedostatak neobnovljivih izvora privlače sve veću uporabu prirodno proizvedenih polimera. Dvije najvažnije skupine prirodnih polimera su polisaharidi i polimeri dobiveni od različitih proteina. Potrebna je kemijska obrada u svrhu poboljšavanja mehaničkih svojstava ili promjene brzine razgradnje. [12]

Druga skupina obuhvaća sintetički dobivene polimere, uglavnom poliestere koji su podložni biorazgradnji. To su polimeri na bazi polilaktične kiseline (PLA) te će o njima biti detaljnije rasprave u nadolazećim poglavljima ovog rada.

##### **2.4.2.1. Sintetički biorazgradivi polimeri**

Biorazgradivi polimeri uglavnom uključuju alifatske poliestere kao što su polikaprolakton (PCL), polibutilen-sukcinat (PBS), polibutilen-sukcinat adipat (PBSA) i ostale alifatske



kopolistere i alifatsko-aromatske kopolistere kao što je polibutilen adipatterefalat (PBAT). [16]

#### 2.4.2.1.1. Alifatski poliesteri

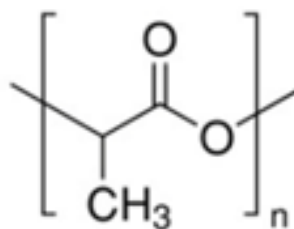
Polimeri koji sadrže estersku funkcionalnu skupinu u osnovnom lancu nazivaju se poliesteri. Alifatske polistere ne odlikuju dobra toplinska i mehanička svojstva, ali su zato biorazgradivi. Polimerne strukture bazirane na alifatskim poliesterima veoma su važne jer su u manjoj ili većoj mjeri osjetljive na hidrolitičku razgradnju, a treba naglasiti da živi sustavi funkcioniraju u vodenom mediju.

Tipične sintetičke alifatske polistere predstavljaju polilaktid (PLA), polikaprolakton (PCL), polietilenoksid (PEO), poliglikolna kiselina (PGA). [15]

##### 2.4.2.1.1.1. Polilaktična kiselina (PLA)

PLA je vrlo koristan materijal koji se koristi kao zamjena za polimere na bazi nafte zbog svojih dobrih mehaničkih svojstava i dobre obradivosti. Međutim, PLA je hidrofobni polimer i ima lošu žilavost, sporu brzinu razgradnje, manje reaktivne skupine bočnih lanaca i nisku toplinsku stabilnost. Može se lako proizvesti s dobrom biokompatibilnošću i toplinskom plastičnošću. U usporedbi s drugim biorazgradivim poliesterima, PLA je najveći potencijalni biopolimer zbog svoje bogate dostupnosti i niske cijene. [17]

Izrađen je od -hidroksi kiseline. PLA je termoplastičan, temperature staklastog prijelaza 64 °C, prekidnog istezanja 30,7 % i rastezne čvrstoće 32,22 MPa. Zbog prisutnosti –CH<sub>3</sub> bočnih skupina PLA je hidrofoban. [12]



*Slika 8. Polilaktična kiselina*

Izvor: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-poly-lactic-acid-pla-prototypes>

Polilaktična kiselina drugačija je od većine termoplastičnih polimera po tome što se dobiva iz obnovljivih izvora poput kukuruznog škroba ili šećerne trske. Većina plastike, naprotiv, izvedena je od destilacije i polimerizacije neobnovljivih rezervata nafte. Plastika koja se dobiva iz biomase (npr. PLA) poznata je pod nazivom “bioplastika”.

PLA je biorazgradiv i ima karakteristike slične polipropilenu (PP), polietilenu (PE) ili polistirenu (PS). Može se proizvesti iz već postojeće proizvodne opreme (projektirane i izvorno korištene za plastiku petrokemijske industrije). To ga čini relativno isplativim za proizvodnju. Prema tome, PLA ima drugi najveći volumen proizvodnje bilo koje druge bioplastike (najčešće se obično navodi kao termoplastični škrob) (Slika 9).

Postoji širok raspon primjena za PLA. Neke od najčešćih primjena uključuju plastične folije, boce i biorazgradive medicinske uređaje (npr. vijke, igle, šipke i ploče za koje se očekuje da se razgrađuju u roku od 6-12 mjeseci). PLA se sužava pod toplinom i stoga je pogodan za upotrebu kao materijal za omatanje. Osim toga, lakoća s kojom se PLA topi dopušta neke zanimljive primjene u 3D tisku. S druge strane, njegova niska temperatura prijelaza u staklenu formu čini mnoge vrste PLA (na primjer, plastične čaše) neprikladnim za držanje vruće tekućine.

Proizvodnja PLA je popularna ideja jer predstavlja ispunjenje sna o troškovno učinkovitoj proizvodnji plastike bez nafte. Velika prednost PLA kao bioplastike je njegova svestranost i činjenica da se prirodno razgrađuje kada je izložena okolišu. Na primjer, PLA boca ostavljena u oceanu obično bi se razgradila za 6 do 24 mjeseca. U usporedbi s običnom plastikom (koja u istom okruženju može potrajati nekoliko stotina do tisuću godina da se razgradi) to je doista fenomenalno. Prema tome, postoji visok potencijal za PLA da bude vrlo koristan u budućnosti jer se sve više upućuje na biorazgradivost (npr. kao plastična boca za vodu ili kao spremnik za voće i povrće). Treba naglasiti da, unatoč svojoj sposobnosti da se razgrađuje kada je izložen elementima okoliša, PLA je izuzetno jak u svakoj normalnoj primjeni (npr. kao plastični dio elektronike). [18]



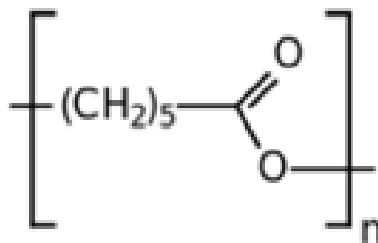
*Slika 9. Prikaz niti plastike PLA*

*Izvor: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes>*

#### **2.4.2.1.1.2. Polikaprolakton (PCL)**

Polikaprolakton, tj. PCL je semikristalni alifatski poliester sintetiziran polimerizacijom otvorenog prstena relativno jeftinog cikličkog monomera  $\epsilon$ -kaprolaktona. Razgradiv je u potpunosti kroz razne aktivnosti enzima. [16]

Topljiv je u širokom rasponu otapala. Staklište mu je nisko, oko  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a talište  $60 - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . PCL je polutvrđ na sobnoj temperaturi, ima nisku rasteznu čvrstoću od  $23\text{ MPa}$  i veliko produljenje, odnosno istežanje, do loma od  $700\%$ . Enzimi i gljivice lako biorazgrađuju PCL. [19]



*Slika 10. Polikaprolakton*

*Izvor: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Polikaprolakton>*

Izvrсна obradivost i fleksibilnost visokomolekularnog lanca neke su od karakteristika PCL-a. Njegovi nedostaci su niska točka taljenja između 59 °C i 64 °C te temperatura staklastog prijelaza na oko -60 °C, što je posljedica kristalične prirode koja onemogućava lako oblikovanje pri nižim temperaturama. Zbog toga se PCL najčešće kombinira i miješa s drugim polimerima u svrhu proizvodnje kompozita traženih svojstava. [20][16]

PCL je hidrofoban, a uslijed povećanja molarne mase smanjuje mu se kristalnost. Pogodan je za biomedicinu zbog dobre topljivosti, niskog tališta i lakog miješanja s drugim polimerima. U svrhu dobivanja veće hidrofilnosti i biokompatibilnosti, moguće mu je dodavati funkcionalne grupe. [19]

Neobično svojstvo PCL-a je njegova visoka toplinska stabilnost. Dok drugi alifatski poliesteri imaju temperaturu razgradnje između 235 °C i 255 °C, kod PCL-a iznosi 350 °C. [15]

PCL čestu primjenu nalazi u proizvodnji prehrambene ambalaže te je zbog svoje odlične biokompatibilnosti istraživana kao gradivni materijal u inženjerstvu tkiva (regeneracija tkiva i transplatacija matičnih stanica). [16]

Pogodan je za kontrolirani prijenos lijekova zbog svoje biokompatibilnosti, visoke propusnosti na razne lijekove i sposobnosti potpunog izlučivanja iz tijela nakon biorazgradnje. Dvije do tri godine je potrebno kako bi se razgradio, a to se smatra sporim procesom ako ga uspoređujemo sa drugim polimerima te se zbog toga primjenjuje za dugoročno otpuštanje lijekova (duže od godine dana). [12]

PLA i PCL u svrhu ovog rada primjenu nalaze kao premazi na papiru koji bi trebali povoljno utjecati na smanjenje propusnosti na vodenu paru, ali i na karakteristike otiska kao što su rub otisnutog motiva te parametri adhezije između slojeva na otisku.

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1. Metodologija rada**

Prvi korak pripreme ispitnog uzorka je oslojavanje običnog bijelog papira biorazgradivim premazima; polikaprolaktonom (PCL) i polilaktičnom kiselinom (PLA) nakon čega slijedi njihovo sušenje.

Za izradu tiskovnih formi, korištena su sita s polimernom mrežicom, linijature 32 niti/cm i 60 niti/cm. Prijeko potrebna je predobrada sita odnosno faza odmašćivanja, bilo za nova, ali i za, u ovom slučaju, prethodno korištena, sita. Na taj način se uklanjaju masnoće nanese rukovanjem te prašina iz zraka. Sredstvo za odmašćivanje Pregar NT 9 K utrljava se mekom četkom nakon čega slijedi pauza od nekoliko minuta te ispiranje snažnim mlazom vode.

Nanošenje KIWO Azocol Z 133, dvokomponentne emulzije na bazi hidrofilnog koloida s dodatkom diazo senzibilizatora, slijedi odmah nakon odmašćivanja, kako ne bi došlo do nove kontaminacije. Okviri sitotiska se u osnovi uvijek prvo premazuju jednim slojem po vanjskoj strani, a onda i po unutarnjoj.

Oslojeno sito sušilo se u DRI-VAULT kabini za sušenje i osvjetljavalo preko predložaka za ExpoCheck u EXPOS-IT kopirnoj rami dvije minute. Nakon osvjetljavanja, neosvijetljeni dijelovi fotoaktivne emulzije uklanjaju se vodom te se suše u kabini za sušenje.

Iduća, ujedno i posljednja, faza je otiskivanje. Korištene su dvije vrste sitotiskarskih baza za boju za papir na bazi vode – pokrivna bijela MIDROL BIANCO, i transparentna MIDROL TRANSPARENTE, obje proizvođača EPTA INKS. U baze je dodan pigment K PRINT procesne crne boje. Gotova tiskovna forma montira se na sitotiskarski stol s vakuumom za ručno otiskivanje. Na stol se stavlja tiskovna podloga, obični bijeli papir (naziv papira i gramatura?) kojeg vakuum fiksira u trenutku spuštanja sita, netom prije nego što dođe do položaja otiskivanja. Svježe pripremljena baza s pigmentom procesne crne boje nanosi se na slobodne površine kod ruba motiva te se prvo rakelom prenosi preko tiskovnih elemenata laganim pritiskom kako bi boja prvo ušla u pore. Odmah nakon toga, u jednom potezu, jednakim pritiskom i kutom od 75° slijedi otiskivanje na tiskovnu podlogu. Ovaj postupak ponavlja se za svaku tiskovnu podlogu oslojenu polikaprolaktonom (PCL), polilaktičnom

kiselinom (PLA) i za neoslojeni obični bijeli papir, a otiskuje se pokrivnom i transparentnom bojom za oba sita spomenute linijature. Nakon sušenja ispitnih otisaka, potrebno ih je pripremiti odnosno izrezati na željene veličine za daljnja ispitivanja.

### **3.2. Korišteni mjerni uređaji**

U svrhu analize interakcije biorazgradivog premaza i tiskarske boje za sitotisak, nakon eksperimentalnog odabira optimalne linijature mrežice na tiskovnoj formi za sitotisak, premazivanja podloge biorazgradivim premazima i otiskivanja na premazanu podlogu korištenjem dviju vrsti sitotiskarskih boja provest će se sljedeća ispitivanja:

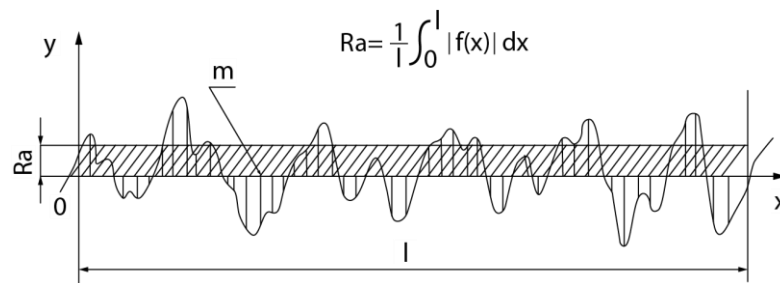
- mjerenja kontaktnog kuta referentnih tekućina na svim površinama u sustavu otiska kako bi se izračunale komponente slobodne površinske energije (SPE) tiskovne podloge, biorazgradivog premaza i sitotiskarskih boja
- iz vrijednosti SPE bit će izračunati parametri adhezije u sustavu „tiskovna podloga-premaz-otisak“
- mjerenje hrapavosti površina
- 2D i 3D mikroskopska analiza površina
- analiza propusnosti na vodenu paru

#### **3.2.1. MarSurf PS 10, hrapavost**

MarSurf PS 10, proizvođača Mahr, uređaj je pomoću kojeg se mjerila hrapavost ispitnih uzoraka. Male je dimenzije te je lagan što uvelike olakšava njegovo korištenje i rukovanje. Uređaj ima iglu koja struže po površini uzorka (određenu duljinu izraženu u milimetrima) i odmah na ekranu očitava, u ovom slučaju, dva parametra; Ra i Rz gdje je Ra prosječno odstupanje profila hrapavosti, a Rz maksimalna visina neravnina.

Ra se izračunava algoritmom koji mjeri prosječnu duljinu između vrhova i dolina te odstupanje od srednje linije na cijeloj površini unutar duljine uzorkovanja. Ra prosječno

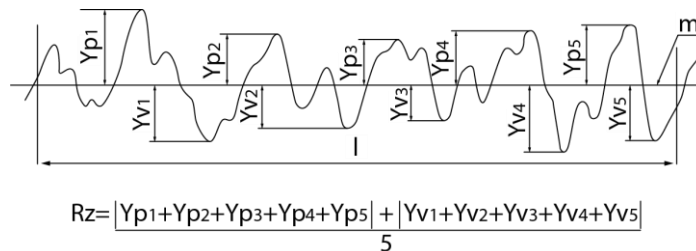
prikazuje sve vrhove i doline profila hrapavosti, a zatim neutralizira nekoliko rubnih točaka tako da ekstremne točke nemaju značajan utjecaj na konačne rezultate.



**Slika 11.** Ra, prosječno odstupanje profila hrapavosti

Izvor: <https://roslerblog.com/2016/05/27/surface-roughness-measurement/>

Rz se izračunava mjerenjem okomite udaljenosti od najvišeg vrha do najniže doline unutar pet duljina uzorkovanja, a zatim se te udaljenosti prosječno izračunavaju. Rz u prosjeku ima samo pet najvećih vrhova i pet najdubljih dolina - stoga ekstremi imaju mnogo veći utjecaj na konačnu vrijednost. [25]

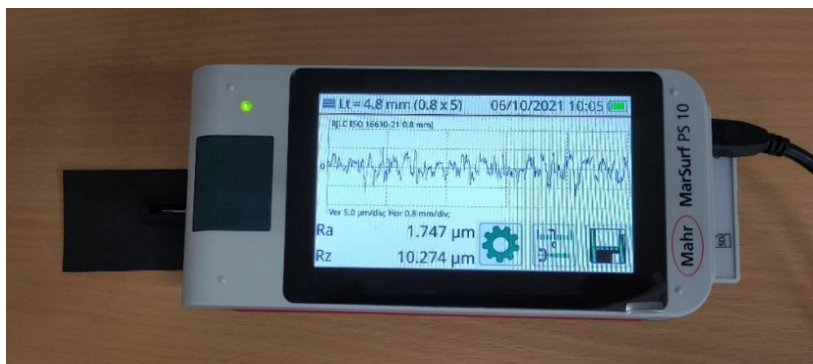


$Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, Y_{p4}, Y_{p5}$  : najviših 5 vrhova uzorka

$Y_{v1}, Y_{v2}, Y_{v3}, Y_{v4}, Y_{v5}$  : najnižih 5 dolina uzorka

**Slika 12.** Rz, maksimalna visina neravnina

Izvor: <https://roslerblog.com/2016/05/27/surface-roughness-measurement/>



*Slika 13. MarSurf PS 10*

### **3.2.2. Goniometar OCA 30, kontaktni kut**

Mjerenje kontaktnog kuta odrađeno je pomoću Goniometra OCA 30, proizvođača Dataphysics. Goniometar OCA 30 je poluautomatski uređaj, upravlja se pomoću računala, a služi za proučavanje i mjerenje kontaktnog kuta između krutina i tekućina. Kontaktni kut može se mjeriti pomoću više metoda. Također je softverski moguće analizirati oblik kapi i odrediti slobodnu površinsku energiju materijala.

Ispitni uzorci pripremljeni su u obliku tankih, škarama rezanim, trakica te je na svakom od uzoraka također provedeno po pet mjerenja. Svako od tih pet mjerenja izgleda tako što se kap tekućine kontrolirano i precizno pusti iz igle koja se nalazi na Goniometru. Nakon toga kap na uzorak ne pada sama od sebe, prvotno je elektronički kontrolirana te se zatim softverski pozicionira u smjeru x i z osi, a ručno u smjeru y osi. Proces upijanja te kapi se snimi sa, otprilike, 250 fps i spremi na računalo. Visokokvalitetan sustav leća i video sustav velike brzine jamči kvalitetnu snimku procesa mjerenja kontaktnog kuta.

Analiza zahtjeva traženje kadra (frame-a) odnosno točno određenog trenutka u kojem se kap odvojila od igle. Nakon toga se pomiče određen broj kadrova, u ovom slučaju deset, unaprijed, a tangenta se namješta na podlogu, tj. ispitni uzorak, te se pomoću Software-a izračunava kontaktni kut.

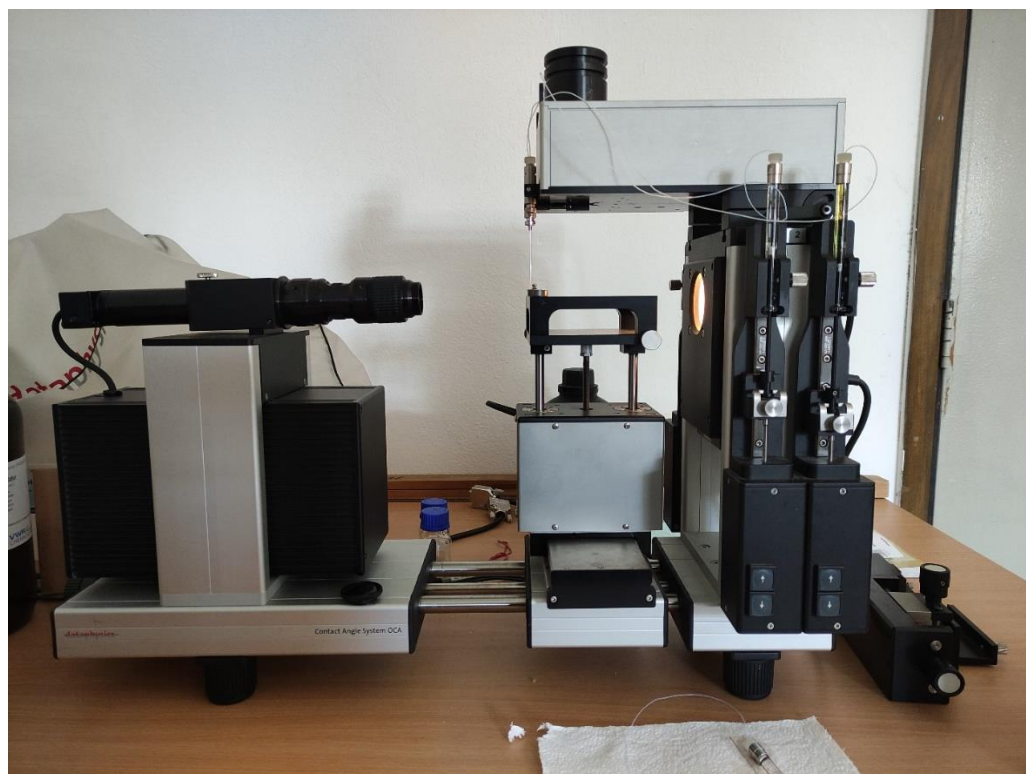
U ovom radu mjerenje se obavilo s tri različite referentne tekućine: jednom izraženo polarnom (destilirana voda), jednom izraženo nepolarnom (dijodmetan) i jednom umjereno



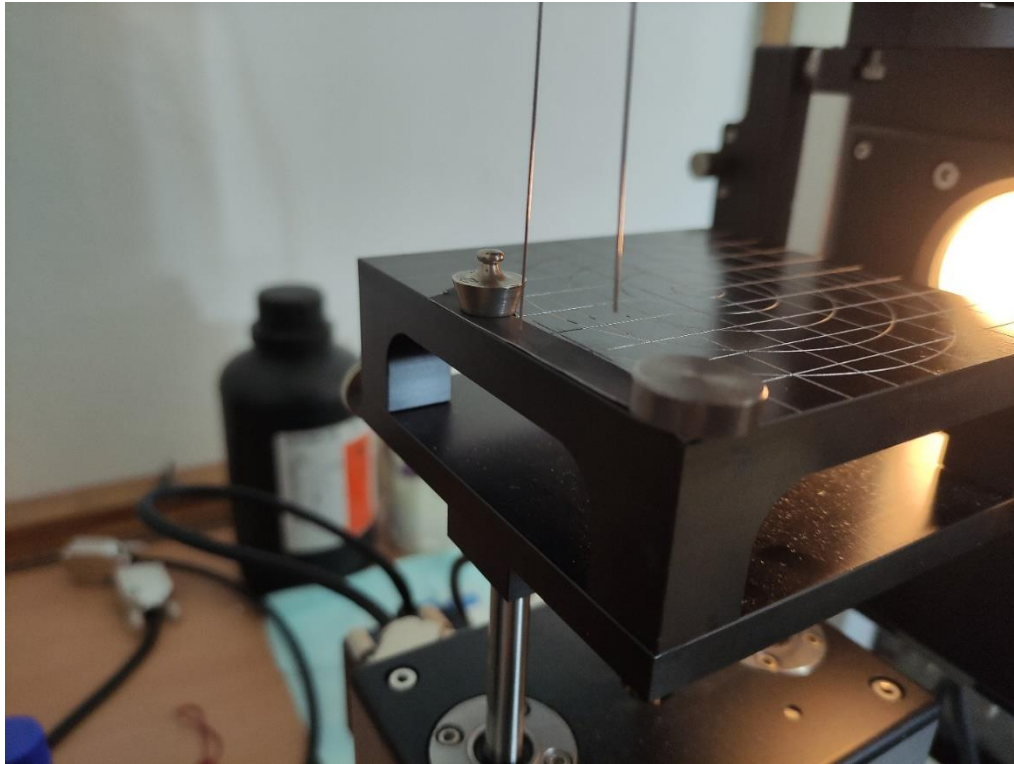
polarnom (glicerol). Na svakom uzorku je mjereno po pet kapi aplikacijom spomenutih tekućina.



*Slika 14. Igla goniometra OCA 30*



*Slika 15. Goniometar OCA 30*



*Slika 16. Ispitni uzorak na goniometru OCA 30*

### **3.2.2.1. Owens, Wendt, Rabel, Kaelble (OWRK) metoda**

Owens, Wendt, Rabel, Kaelble (OWRK) metoda je standardna metoda računanja površinske slobodne energije krutine pomoću kontaktnog kuta s nekoliko tekućina. Prema toj teoriji, slobodna površinska energija se dijeli na dva dijela: polarni dio i nepolarni (disperzni) dio:

$$\sigma = \sigma^p + \sigma^D$$

Prema Youngovoj jednadžbi, postoji veza između kontaktnog kuta  $\theta$ , površinske napetosti tekuće faze  $\sigma_l$ , međufazne napetosti  $\sigma_{sl}$  između tekuće i krute faze i slobodne površinske energije  $\sigma_s$  krute faze:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos\theta$$

Kako bismo mogli izračunati slobodnu površinsku energiju iz kontaktnog kuta, treba odrediti drugu nepoznatu varijablu  $\sigma_{sl}$ .

Nadovezujući se na Fowkesovu metodu, međufazna napetost  $\sigma_{sl}$  izračunava se na temelju dvije površinske napetosti  $\sigma_s$  i  $\sigma_l$  i sličnih interakcija između faza. Ove interakcije tumače se kao geometrijska sredina disperznog dijela  $\sigma^D$  i polarnog dijela  $\sigma^P$  površinske napetosti ili površinske slobodne energije:

$$\sigma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^P \cdot \sigma_l^P})$$

gdje je  $\sigma_l$  površinska napetost tekuće faze,  $\sigma_s$  površinska napetost krute faze,  $\sigma^D$  disperzna komponenta, a  $\sigma^P$  polarna komponenta površinske napetosti. Uvrštavanjem jednadžbi (1) i (2) u (3) moguće je doći do izraza za izračunavanje kuta kvašenja za neki poznati sustav površina čemu je doprinio Kaelble kombiniranjem više tekućina, a Rabel izrazom za određivanje polarne i disperzne komponente površinske napetosti:

$$\frac{(1+\cos\theta)\sigma_l}{2\sqrt{\sigma_l^D}} = \sqrt{\sigma_s^P \cdot \frac{\sigma_l^P}{\sigma_l^D}} + \sqrt{\sigma_s^D}$$

gdje je  $\sigma_s$  površinska napetost krute faze,  $\sigma_l$  površinska napetost tekuće faze, a  $\sigma^D$  disperzna komponenta površinske napetosti,  $\sigma^P$  polarna komponenta površinske napetosti.

Izračunavanjem srednjih vrijednosti kontaktnih kuteva svih navedenih referentnih tekućina, program navedenim proračunima daje konačne vrijednosti slobodnih površinskih energija i njenih komponenata za uzorke svih ispitivanih stanja.

Parametri adhezije izračunati su iz ukupne, polarne i disperzne slobodne površinske energije za slojeve u kontaktu (papir, pojedini primer i tiskarska boja).

Termodinamički rad adhezije  $W_{12}$  izračunat je koristeći formulu:

$$W_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12},$$

gdje se  $\gamma$  odnosi na slobodnu energiju površine svake krute tvari, u slučaju ovog istraživanja papira ( $\gamma_1$ ) i papira s otiskom ( $\gamma_2$ ), a  $\gamma_{12}$  označava njihovu slobodnu površinsku energiju međufaze. Ona je određena pomoću formule prema Owens-Wendt metodi izračuna:

$$\gamma_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - 2(\sqrt{\gamma_1^d \times \gamma_2^d} + \sqrt{\gamma_1^p \times \gamma_2^p}).$$

Kao treći parametar adhezije, močenje ( $S_{12}$ ) određeno je formulom:

$$S_{12} = \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_{12},$$

Optimalna adhezija postiže se ako su ispunjeni sljedeći uvjeti parametara adhezije: termodinamički rad adhezije mora biti maksimalan, međufazna napetost mora biti minimalna i blizu nule, a močenje mora biti jednako ili veće od nule.

### 3.2.3. Mikroskop Olympus BX 51, 2D mikroskopija površine uzoraka

Svjetlosni mikroskop Olympus BX 51 omogućava promatranje i digitalizaciju slike uzorka pod povećanjem od 4 – 100x. Ima mogućnost mjerenja visinskih razlika na uzorku (3D prikaz), određivanja dimenzija (udaljenost, kutovi,...) na uzorku, korekcija te obrada slike uzorka. [21]



*Slika 17. Mikroskop Olympus BX 51*

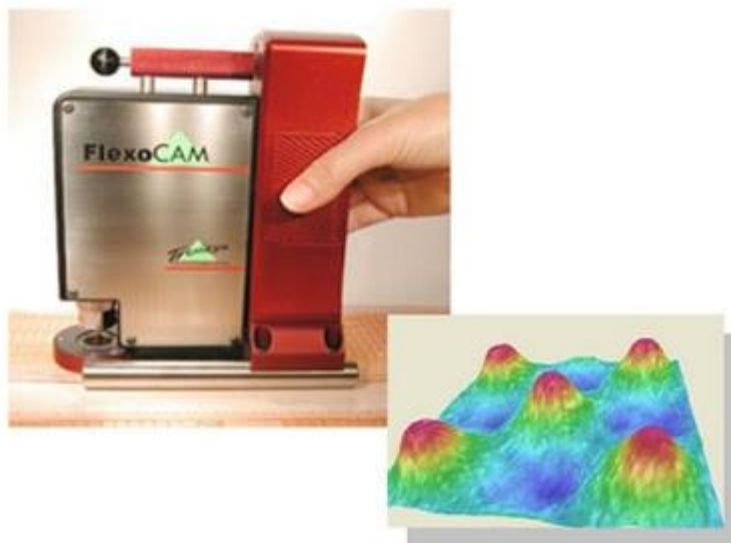
*Izvor: [https://sestar.irb.hr/instrumenti\\_show.php?ID=686](https://sestar.irb.hr/instrumenti_show.php?ID=686)*

### 3.2.4. Mikroskop Troika AniCAM 3D, 3D mikroskopija

Troika AniCAM 3D mikroskop osmišljen je kako bi pomogao pri kontroli kvalitete ključnih komponenti u procesu industrijskog tiska. Može se koristiti u industriji premaza, utiskivanja

i graviranja. Razvijen je u svrhu promicanja operativne učinkovitosti, dosljedne kvalitete i stalnog poboljšanja u industrijskim tiskarama.

Uređaj mjeri 3D očitavanja za postotak točaka, broj zaslona, dubinu reljefa, simulaciju kompresije i kutove. [22]



*Slika 18. Mikroskop Troika AniCAM 3D, trodimenzionalni prikaz uzorka  
Izvor: <https://www.printsystems.pl/en/troika-anicam-3d-microscope/flexo-plate-control/>*

### **3.2.5. Analitička vaga Mettler Toledo XS205DU, propusnost na vodenu paru**

Precizna analitička vaga koja omogućuje mjerenje u rasponu od 0 do 220 g, s preciznošću od 0,01 mg/ 0,1 mg.



*Slika 19. Mettler Toledo XS205DU analitička vaga*

*Izvor:*

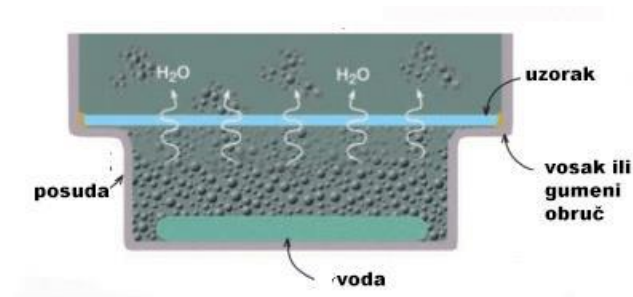
*[https://www.mt.com/id/en/home/phased\\_out\\_products/Laboratory\\_Weighing\\_Solutions/Analytical/Excellence/XS\\_Analytical\\_Balance/XS205DU.html](https://www.mt.com/id/en/home/phased_out_products/Laboratory_Weighing_Solutions/Analytical/Excellence/XS_Analytical_Balance/XS205DU.html)*

Sposobnost materijala da propusti paru (poput vodene pare ili bilo kojeg drugog plina) definira se propusnošću pare. Točnije, to je mjera koliko se pare prenosi kroz materijal (ili složeni objekt) u danom nizu okolnosti. Što je veća vrijednost propusnosti materijala, para brže može proći kroz njega. Dakle, paropropusnost je brzina kojom para prolazi kroz materijal.

Ispitivanje propusnosti danih uzoraka na vodenu paru provodi se „metodom šalice“. Metoda šalice je metoda koja se koristi za neovisno ispitivanje propusnosti vodene pare na jednostavnom i vidljivom principu. Kod ove metode postoji određena razlika tlaka na dvije strane uzorka. Parametri koji se odnose na propusnost vodene pare izračunavaju se nakon ispitivanja brzine propuštanja vodene pare uzorka pod određenom temperaturom i relativnom vlagom. Metodom šalice može se upravljati na dva načina na temelju istog principa ispitivanja: metoda isušivanja pri kojoj vodena para prelazi u posudu za ispitivanje, te metoda vode kod koje vodena para izlazi iz posude za ispitivanje koja je ujedno i korištena za potrebe ovog rada.

Svrha ovih ispitivanja je da se pomoću jednostavnih aparata dobiju pouzdane vrijednosti prolaska vodene pare kroz propusne i polupropusne materijale, izražene u odgovarajućim jedinicama. Ove se vrijednosti koriste za dizajn, proizvodnju i marketing. [26]

Oko 20mm je idealna dubina korištene posude te treba imati i rub koji će držati uzorak. Također, mora biti nepropusna za vodu ili vodenu paru, ali i nekorodirajuća. Destilirana voda stavlja se u posudu te se uzorkom poklopi otvor, s tim da uzorak ne smije dodirivati vodu, a rubovi se trebaju zatvoriti voskom ili gumenim obručom. [27]



*Slika 20. Prolaz vodene pare kroz uzorak*

*Izvor: Golik Krizmanić M., (2020.), Funkcionalni premaz od PCL-a s dodatkom cinkova oksida kao zaštita otisaka, Završni rad, Grafički fakultet*

Krug promjera 35 mm čini otvor prolaska vodene pare. Posuda s uzorkom stavlja se u eksikator, skupa s 95 % sulfatnom kiselinom u svrhu održavanja relativne vlažnosti (oko 50 %).

Masa uzorka mjerena je tri puta, prvotno prije stavljanja u eksikator ( $m_0$ ), slijedi nakon 24 sata ( $m_2$ ) te naposljetku nakon 48 sati provedenih u eksikatoru. Izmjerene mase uvrštavaju se u formulu s ciljem dobivanja koeficijenta propusnosti vlage, eng. WVTR:

$$WVTR = m_0 - \frac{m_2 + m_3}{2}$$

Koeficijent se preračunava s ciljem da rezultat prikazuje masu vodene pare koja u jednom danu prođe kroz površinu od  $1 \text{ m}^2$  (mjerna jedinica je  $\text{g/dan} \cdot \text{m}^2$ )



### 3.3. Korišteni materijali

#### 3.3.1. PREGAN NT 9 K, sredstvo za odmaščivanje

PREGAN NT 9 K je visoko učinkovit koncentrat za čišćenje i odmaščivanje sita za mrežice. Koristi se razrijeđen u omjeru 1:10 s vodom. Njegova je formula posebno prilagođena zahtjevima sitotiska te je stoga bolji od svih konvencionalnih deterdženata.

Pogodan je za sve vrste mrežica i sprječava pojavu rupica i oštećenja površine pri premazivanju izravnim foto emulzijama. U njegovom oblikovanju korištene su uglavnom komponente koje su ili napravljene od obnovljivih sirovina ili su proizvedene biotehnički. PREGAN NT 9 K je pH neutralan, bez fosfata i klorida i lako je biorazgradiv. [23]



*Slika 21. PREGAN NT 9 K, sredstvo za odmaščivanje*

*Izvor: <https://www.farben-frikell.de/sieb-tampondruck/kiwo-siebdruckchemie/vorbehandlung/1764/pregan-nt-9-k-siebreiniger/entfetter>*

#### 3.3.2. KIWO Azocol Z 133

Azocol Z133 koristi se za proizvodnju visokokvalitetnih tiskovnih forma za sitotisak, otpornih na vodu i otapala. Zbog svoje velike sposobnosti razlučivanja i izvrsnog preklapanja rešetkastih ćelija Azocol Z133 idealan je za ispis najfinijih rasterskih tekstova i slika, te je stoga univerzalno primjenjiv u sitotisku. Unatoč visokoj razini stabilnosti, Azocol Z133 uklanja se lako s tiskovne forme. [24]



### **3.3.3. Mrežice**

Pri početku tiska u sitotisku potrebno je odabrati odgovarajuću mrežicu, a to znači da će različite linijature mrežice sita također dati i različite rezultate. Za potrebe ovog rada korištena su sita s polimernom mrežicom linijature 32 niti/cm i 60 niti/cm.

### **3.3.4. Sitotiskarske baze**

Korištene su dvije vrste sitotiskarskih baza za boju za papir na bazi vode – pokrivna bijela, i transparentna. Pokrivna: MIDROL BIANCO, transparentna: MIDROL TRANSPARENTE, obje proizvođača EPTA INKS. U baze je dodan pigment K PRINT procesne crne boje.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1. Hrapavost

Parametri hrapavosti papirne podloge premazane biorazgradivim premazima PLA i PCL uz dodatak sitotiskarske boje na bazi pokrivne i transparentne bijele boje prikazani su u *tablici 1*. Mjerenja su provedena uz 5 ponavljanja (N=5). Svi parametri, Ra i Rz, obrađeni su i iskazani u obliku srednje vrijednosti, izražene u mikrometrima ( $\mu\text{m}$ ) te standardne devijacije (SD).

*Tablica 1. Parametri hrapavosti, Ra i Rz*

Papir	Ra = 2.34 $\pm$ 0.18, Rz = 14.56 $\pm$ 0.99							
	PLA							
PCL	Ra = 2.24 $\pm$ 0.12, Rz = 14.62 $\pm$ 0.84							
	32 l/cm				60 l/cm			
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	SD	Rz ( $\mu\text{m}$ )	SD	Ra ( $\mu\text{m}$ )	SD	Rz ( $\mu\text{m}$ )	SD
CT	3,02	0,21	16,85	1,65	2,80	0,34	15,29	1,70
PLA + CT	2,55	0,19	13,98	1,12	2,17	0,15	12,98	0,85
PCL + CT	2,34	0,22	13,44	1,36	2,10	0,17	12,35	1,48
CP	1,94	0,18	9,67	0,98	1,56	0,19	8,55	0,82
PLA + CP	1,67	0,16	10,02	1,25	1,50	0,15	8,90	0,58
PCL + CP	1,71	0,24	10,15	1,21	1,62	0,23	8,66	1,55

PLA i PCL na papiru bez dodatnog otiska tiskarskom bojom nemaju velik utjecaj na hrapavost papirne podloge jer se djelomično upijaju u papir.

Najmanja vrijednost Ra izmjerena je na papirnoj podlozi sa pokrivnom crnom (CP) otisnutom sitom linijature 60 l/cm te iznosi 1,56  $\mu\text{m}$  dok je najveća vrijednost Ra izmjerena na papirnoj podlozi sa transparentnom crnom (CT) linijature 32 l/cm te iznosi 3,02  $\mu\text{m}$ .

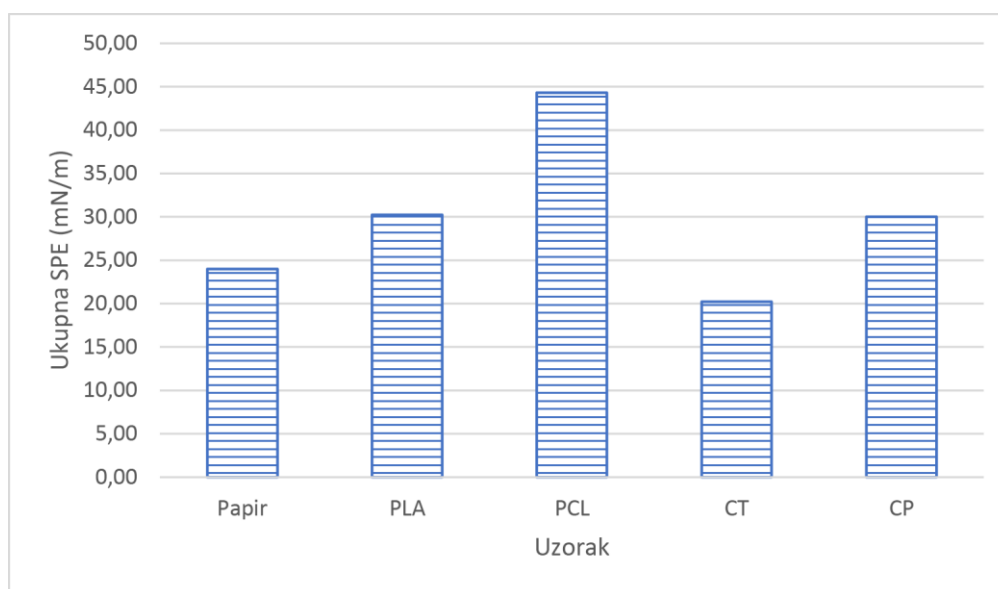
Ista situacija je vidljiva kod parametra Rz jer se njegova najmanja vrijednost, 8,55  $\mu\text{m}$ , nalazi upravo na papirnoj podlozi sa pokrivnom crnom (CP) linijature 60 l/cm, a najveća, 16,85  $\mu\text{m}$ , na papirnoj podlozi sa transparentnom crnom (CT) linijature 32 l/cm.

To dovodi do zaključka da sloj pokrivne crne (CP) ima manju hrapavost od sloja transparentne crne (CT).

Uz dodatak sloja PLA ili PCL ispod transparentne crne, dobiva se glađi otisak nego kad je prisutna samo transparentna crna na papirnoj podlozi. No, uslijed dodavanja PLA ili PCL ispod pokrivne crne, hrapavost u ovom slučaju raste u oba sloja boja. Transparentna crna ima manju slobodnu površinsku energije od pokrivne crne, ali i od PLA i PCL-a (*Dijagram 1*). Zbog svoje manje slobodne površinske energije, posjeduje sposobnost boljeg razlijevanja po površini ako se uspoređi sa pokrivnom crnom. Također, pokrivna crna je prvotno puno gušća što ima izravan utjecaj na razlijevanje boje, a to kasnije, na otisku, rezultira izraženijim posljedicama protiskivanja kroz sitotiskarsku mrežicu dane strukture.

#### 4.2. Slobodna površinska energija (SPE) i adhezija

Prikazana je samo ukupna SPE jer je polarna komponenta na svim uzorcima zanemariva u usporedbi s disperznom (do 1 mN/m).



*Dijagram 1. Prikaz SPE na uzorcima*

Prema *Dijagramu 1*, najveću slobodnu površinsku energiju ima uzorak oslojen PCL-om te iznosi 44,32 mN/m, a transparentna crna (CT) posjeduje najnižu slobodnu površinsku energiju u iznosu od 20,24 mN/m.

U narednom poglavlju su prikazani važni parametri adhezije koji su izračunati iz slobodne površinske energije uzoraka. Optimalna adhezija postiže se kada sva tri parametra ispunjavaju sljedeće uvjete: međupovršinska napetost ( $\gamma_{12}$ ) treba biti minimalna, odnosno čim bliže 0, termodinamički rad adhezije ( $W_{12}$ ) treba biti maksimalan te bi, na kraju, močenje ( $S_{12}$ ) trebalo prvotno biti pozitivno, a onda i čim bliže 0.

**Tablica 2. Parametri adhezije**

Površine	Parametri adhezije (mN/m)		
	$\gamma_{12}$	$W_{12}$	$S_{12}$
Papir - PLA	0,70	53,55	5,55
Papir - PCL	3,62	64,70	16,69
Papir - CT	0,19	44,04	-3,95
Papir - CP	0,92	53,09	5,09
PLA - CP	0,04	60,22	-0,27
PLA - CT	1,13	49,36	-11,14
PCL - CP	1,39	72,94	-15,70
PCL - CT	4,88	59,68	-28,96

$\gamma_{12}$  - međupovršinska napetost

$W_{12}$  - termodinamički rad adhezije

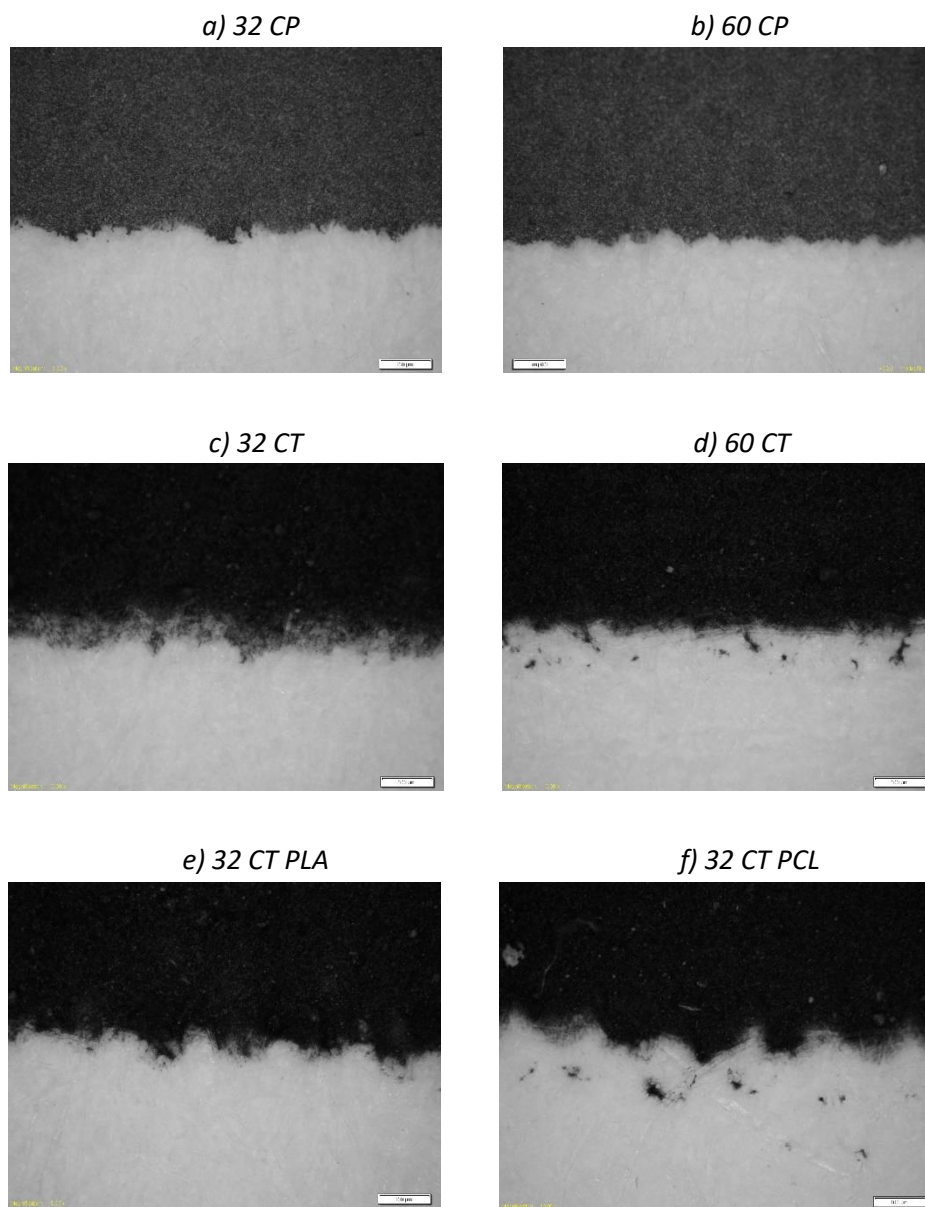
$S_{12}$  - močenje

Prema *Tablici 2*, vidljivo je da je međupovršinska napetost najbolja između PLA i CP (0,04 mN/m), vrlo dobra između papira i CT (0,19 mN/m), a najgora između PCL i CT (4,88 mN/m). Kod termodinamičkog rada adhezije prednjači odnos između PCL i CP (72,94 mN/m) sa najvišim koeficijentom. Također, optimalan termodinamički rad adhezije prisutan je i između papira i PCL (64,70 mN/m) te PLA i CP (60,22 mN/m), a najmanji, ujedno i najgori, vidljiv je između papira i CT (44,04 mN/m). Zadnji parametar, močenje, najbolji je između papira i CP (5,09 mN/m) ako se u obzir uzme da koeficijent treba biti pozitivan, ali i najbliži nuli iako tu nije optimalan. Iako je najbliži nuli, odnos između PLA i CP (-0,27 mN/m) je negativan te stoga ne ispunjava definiciju adekvatnog i potpunog močenja.

Iz danih parametara i njihovih rezultata, dalo bi se zaključiti da je adhezija, kada se gledaju sva tri njena parametra, najbolja između PLA i CP, dobra je i za papir i PLA, za papir i CT te papir i CP. Stoga, PLA kao sloj na papiru poboljšava prijanjanje pokrivne crne boje, dok

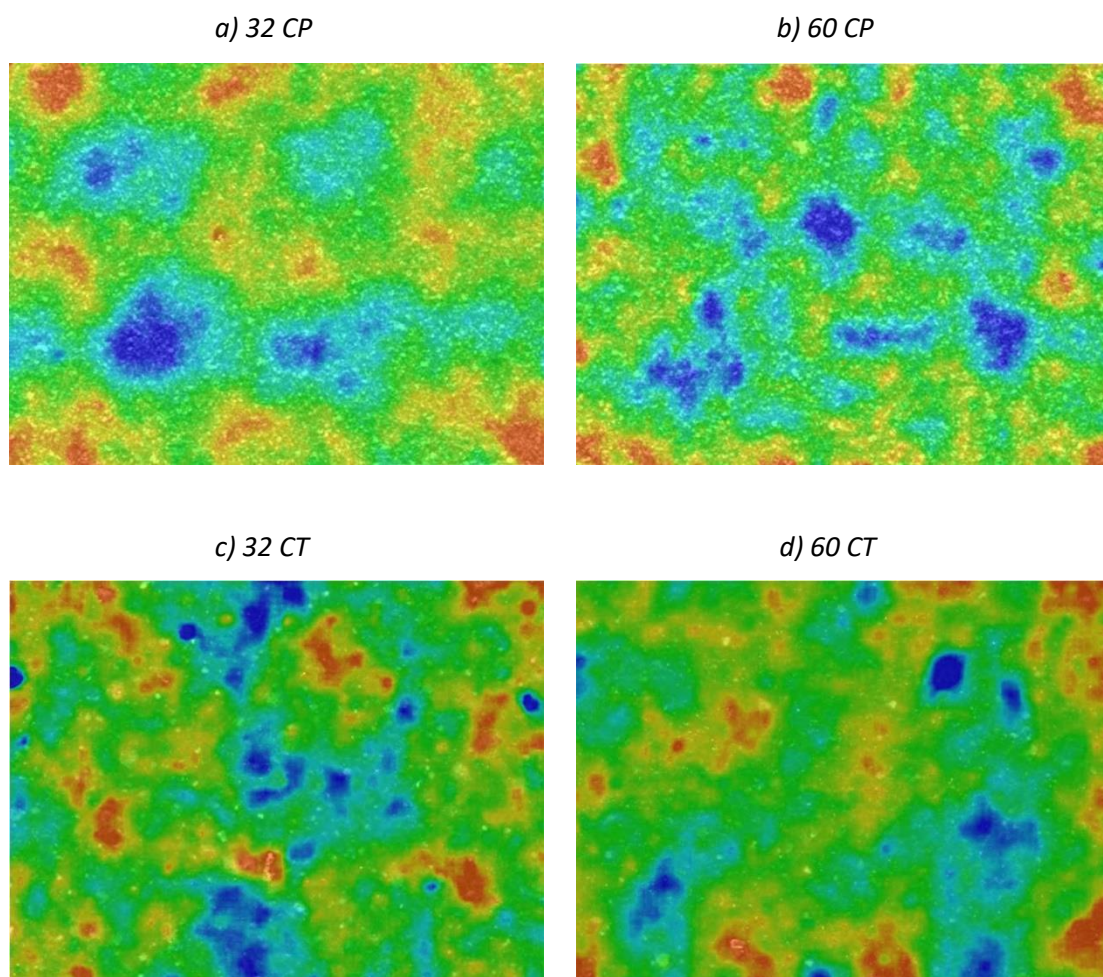
se njegovo korištenje ne preporuča kao podloga za transparentnu crnu. PCL se zbog izrazito negativnog koeficijenta močenja ne preporuča kao papirni premaz ni za CP (-15,70 mN/m), ni za CT (-28,96 mN/m).

### 4.3. 2D, 3D mikroskopski prikazi



*Slika 22. 2D mikroskopski prikaz uzoraka*

Na *Slici 22* je vidljiv prikaz slika dobivenih Olympus BX 51 mikroskopom u svrhu analize 2D mikroskopije odabranih uzoraka. U prvom i drugom redu nalaze se otisci bez PLA ili PCL te su, očekivano, na otiscima više linijature, b) i d), otisnuti rubovi manje nepravilni. U zadnjem redu nalaze se otisci linijature 32 s CT uz prisustvo PLA ili PCL. Kod tih primjeraka nema značajnijeg utjecaja na definiciju ruba linije, ali se može primijetiti da je nestao gradijentni prijelaz između boje i papira koji je prisutan na otisku iste linijature s istom bojom, ali u tom slučaju bez PLA ili PCL. To se događa iz razloga smanjivanja upojnosti papira uslijed premazivanja.

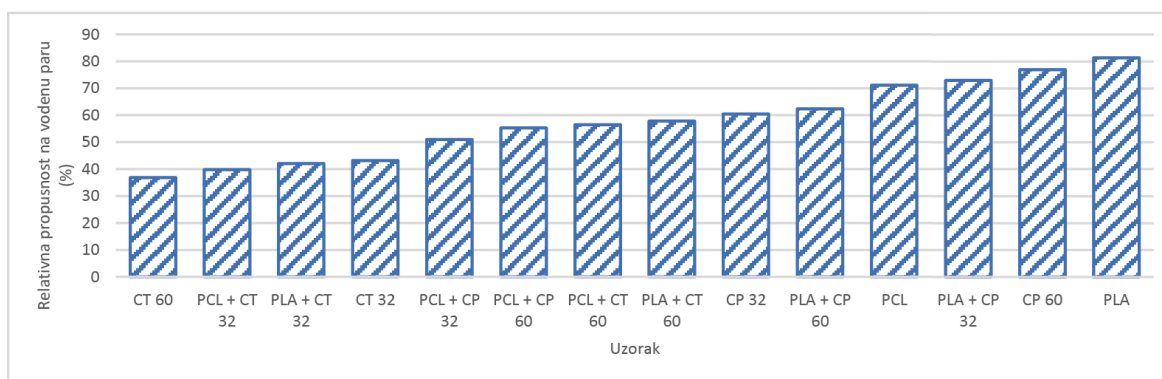


*Slika 23. 3D mikroskopski prikaz uzoraka*

Slika 23 prikazuje topografiju površine otisaka. Crvena boja predstavlja najviše točke, a plava najdublje. Pomoću softvera mikroskopa istaknuti su oku nevidljivi podatci, a to su upravo razlike između spomenutih najviših, crvenih, i najdubljih, plavih, točaka. Kod 32 CP, ta razlika iznosi 17.4  $\mu\text{m}$ , dok je na 60 CP 10.8  $\mu\text{m}$ . Na 32 CT razlika je 14.9  $\mu\text{m}$ , a na 60 CT 14.4  $\mu\text{m}$ . Stoga, kako je CT rjeđa od CP, povećanje linijature nije puno utjecalo na apsolutno smanjenje neravnina na površini otiska. Iz 3D prikaza, može se još vidjeti da su površine udubina i povišenih dijelova na otiscima linijature 32 l/cm nešto veće nego li su na linijaturi 60 l/cm.

#### 4.4. Propusnost na vodenu paru

Stupčasti *Dijagram 2* prikazuje relativnu propusnost na vodenu paru u odnosu na propusnost samog papira, kojem propusnost na vodenu paru prema postavljenoj vrijednosti iznosi 100 %. Prikazana je rastuća putanja, a kreće od uzorka najmanje do uzorka najveće propusnosti. Jasno je vidljivo da CT kao sloj na papiru prednjači svojstvom smanjenja propusnosti na vodenu paru jer se nalazi na prva četiri mjesta. Stoga, CT očito ima najviše izražena svojstva barijere za vodenu paru u usporedbi sa materijalima korištenim u svrhu istraživanja u ovom rada. S druge strane, PLA skupa s pokrivnom crnom pokazuju najveću propusnost na vodenu paru te tim najmanje pridonose željenom efektu smanjenja propusnosti vodene pare. Također, ni PCL sam na papirnoj podlozi nije najbolje rješenje jer mu propusnost na vodenu paru iznosi oko 70 % u odnosu na sam papir.



*Dijagram 2. Prikaz relativne propusnosti na vodenu paru*

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj biorazgradivog premaza od polikaprolaktona i polilaktične kiseline, nanesenog na papirnu tiskovnu podlogu, u interakciji s tiskarskom bojom za sitotisak, na bazi pokrivne i transparentne bijele, na smanjenje propusnosti na vodenu paru, ali i na svojstva otisaka kao što su rub otisnutog motiva te na parametre adhezije između slojeva na otisku. Pripremljeno je više ispitivanih uzoraka na kojima su provedena mjerenja hrapavosti, kontaktnog kuta, 2D i 3D mikroskopije površine uzoraka te propusnosti na vodenu paru.

Prvotno, na samom početku ovog rada, postavljene su tri hipoteze koje će u sljedećim paragrafima biti navedene, analizirane i potvrđene, djelomično potvrđene ili odbačene.

Nakon istraživanja i rezultata, iz danih hipoteza se mogu izvesti sljedeći zaključci:

1.) Parametri adhezije između biorazgradivih premaza i pripremljenih tiskarskih boja razlikovat će se ovisno o vrstama materijala, ali će ukazati na optimalno prihvaćanje tiskarskih boja na premazane tiskovne podloge.

Prva hipoteza je djelomično potvrđena. Istraživanje je pokazalo da su parametri adhezije najoptimalniji između PLA i pokrivne crne, ali ne i kod korištenja PLA u kombinaciji sa transparentnom crnom. Uz pomoć dobivenih rezultata, da se zaključiti da veza PLA i CP, u usporedbi sa ostalim materijalima, daje najbolju međupovršinsku napetost (0,04 mN/m), vrlo dobar termodinamički rad adhezije (60,22 mN/m) te moćenje sa koeficijentom najbližem nuli (-0,27 mN/m) neovisno o negativnom koeficijentu.

S druge strane, zbog izrazito negativnog koeficijenta moćenja PCL se ne preporuča kao papirni premaz ni za pokrivnu, a ni za transparentnu crnu. Međupovršinska napetost najgora je upravo između PCL-a i CT (4,88 mN/m), za papir i PCL (3,62 mN/m) te se naposljetku, na trećem mjestu se nalazi kombinacija PCL-a i CP (1,39 mN/m). Što se termodinamičkog rada adhezije tiče, najviši je kod PCL-a i CP (72,94 mN/m), papira i PCL-a (64,70 mN/m) što zapravo dokazuje tvrdnju da se parametri adhezije, između biorazgradivih premaza i pripremljenih tiskarskih boja, uvelike razlikuju ovisno o vrstama materijala jer se PCL, kao



premaz koji bi trebao poboljšati prianjanje, ne preporuča zbog njegovog, već spomenutog, izrazito negativnog koeficijenta močenja.

Stoga, samo PLA kao sloj na papiru poboljšava prianjanje izričito pokrivne crne boje.

2.) Biorazgradivi premazi smanjit će propusnost tiskovne podloge na vodenu paru.

Druga hipoteza je djelomično potvrđena. Prilikom istraživanja, jasno je utvrđeno da PLA, sam kao premaz na papirnoj podlozi, najmanje utječe na smanjenje propusnosti na vodenu paru u usporedbi s PCL-om i korištenim tiskarskim bojama. Spomenuta propusnost papira sa slojem PLA iznosi oko 80 %. Isto vrijedi i za PCL, također samostalno kao premaz na papirnoj podlozi, sa vrijednošću od oko 70 % propusnosti na vodenu paru. Do solidnog smanjenja propusnosti na vodenu paru dolazi tek kada se biorazgradivi sloj, u ovom slučaju i PLA i PCL, kombinira sa transparentnom crnom (CT) jer ona, za razliku od biorazgradivih materijala korištenih u svrhu ovog istraživanja, sadrži najpovoljnija svojstva barijere za vodenu paru.

3.) Biorazgradivi premazi neće značajno utjecati na definiciju rubova otisnutih rasterskih elemenata.

Treća, ujedno i zadnja hipoteza je potvrđena. Uslijed analize dvodimenzionalnih mikroskopskih prikaza, vidljivo je da na primjerku otiska linijature 32 l/cm transparentnom crnom uz dodatak i PLA, ali i PCL-a, nema značajnijeg utjecaja na definiciju ruba linije osim što je očit nestanak gradijentnog prijelaza između boje i papira koji je prisutan na otisku iste linijature s istom bojom, samo u tom slučaju bez biorazgradivih premaza.

## 6. LITERATURA

1. Bolanča S., Golubović K. (2008). Tehnologija tiska od Gutenberga do danas, Senjski zbornik, Glavičić M. (ur.), 125-146, 0582-673X, Senj, 2008., Senjsko muzejsko društvo, Senj
2. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=61458>, 26.4. 2021.
3. Fabijanić T., (2014.), *Utjecaj fotoaktivnog sloja na reprodukciju kod tiskovne forme za propusni tisak*, Završni rad, Grafički fakultet
4. Kelčec-Pester, B. (2020), *Grafički tehničar \_Grafička tehnologija \_Sitotisak \_3. Razred* [Powerpoint prezentacija]. Preuzeto s <https://nastava.asoo.hr/graficka-tehnologija-i-audio-vizualno-oblikovanja/graficki-tehnicar-tiska/>
5. Sefar AG. (1999.), *Priručnik za sitotiskare*, Hrvatska Udruga Sitotiskara, Zagreb
6. <https://www.catspitproductionsllc.com/screenmeshconversions.html>, 28.4. 2021.
7. Dragović S., (2014.), *Mogućnost reprodukcije specijalnih efekata s tiskovnom formom za propusni tisak*, Završni rad, Grafički fakultet
8. *Tiskovne forme 1-Predavanje 13, 2016./17.* [Powerpoint prezentacija]. Preuzeto s [https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1039299/mod\\_resource/content/1/Predavanje13ok.pdf](https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1039299/mod_resource/content/1/Predavanje13ok.pdf)
9. *Male tehnike tiska-Sitotisak 3. dio, Predavanje 9, 2014.* [Powerpoint prezentacija]. Preuzeto s [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/MTT%20Predavanje%209a.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/MTT%20Predavanje%209a.pdf)
10. *Osnovni grafički materijali-Grafičke boje.* Preuzeto s <https://silo.tips/download/2-osnovni-grafiki-materijali-grafike-boje>
11. <https://youmatter.world/en/definition/biodegradable-plastic/>, 6.6. 2021.
12. Stanojević M., (2015.), *Utjecaj celuloze na razgradnju PCL/PLA mješavina*, Diplomski rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
13. <https://ambalazaipakovanje.com/biopolimeri-biorazgradiva-plasticna-ambalaza/>, 7.6. 2021.
14. [https://hr.janghan.net/wiki/Biodegradable\\_polymer](https://hr.janghan.net/wiki/Biodegradable_polymer), 7.6. 2021.

15. Uglešić P., (2015.), *Biorazgradivi polimeri i njihova primjena*, Završni rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
16. Palfi V., (2017.), *Ispitivanje degradacije biorazgradivog polimera u morskoj vodi*, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje
17. K.Deshmukh, M.Basheer Ahamed, R.R.Deshmukh, S.K.Khadheer Pasha, P.R.Bhagat i K.Chidambaram *Biopolymer Composites With High Dielectric Performance: Interface Engineering, Biopolymer Composites in Electronics*, (2017), 145-147
18. Rogers T., (2015.), *Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA)*, Creative Mechanisms Blog (<https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-poly-lactic-acid-pla-prototypes>)
19. Dolčić I., (2015.), *Mehanička svojstva polimera*, Završni rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
20. Hac M., (2015.), *Toplinska svojstva polimera*, Završni rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
21. <https://www.kruss-scientific.com/en/know-how/glossary/owens-wendt-rabel-and-kaelble-owrk-method>, 9.8.2021.
22. <https://www.printsystems.pl/en/troika-anicam-3d-microscope/>, 9.8.2021.
23. <https://screenstretch.co.uk/silk-screen-printing-chemicals/screen-printing-mesh-pre-treatment/>, 9.8.2021.
24. [http://www.spmachine.ru/azocol\\_z133-en.htm](http://www.spmachine.ru/azocol_z133-en.htm), 9.8.2021.
25. <https://roslerblog.com/2016/05/27/surface-roughness-measurement/>, 21.8.2021.
26. <http://en.labthink.com/en-us/literatures/an-outline-of-standard-for-cup-method-water-vapor-permeability-testing.html>, 26.8.2021.
27. Golik Krizmanić M., (2020.), *Funkcionalni premaz od PCL-a s dodatkom cinkova oksida kao zaštita otisaka*, Završni rad, Grafički fakultet